

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO

CARRERA:
INGENIERÍA ELÉCTRICA

TRABAJO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:
INGENIERO ELÉCTRICO

TEMA:
ANÁLISIS DE CALIDAD Y CONFIABILIDAD DE LA ENERGÍA
ELÉCTRICA EN EL IESS HOSPITAL DE ESPECIALIDADES CARLOS
ANDRADE MARÍN

AUTOR:
RODRÍGUEZ MOROCHO
GUILLERMO ALEJANDRO

TUTOR:
ÁGUILA TÉLLEZ ALEXANDER

Quito, febrero de 2020

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo, Guillermo Alejandro Rodríguez Morocho, con documento de identificación N° 172192683-8, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del trabajo de titulación: “ANÁLISIS DE CALIDAD Y CONFIABILIDAD DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL IEES HOSPITAL DE ESPECIALIDADES CARLOS ANDRADE MARÍN”, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de INGENIERO ELÉCTRICO, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



Guillermo Alejandro Rodríguez Morocho
CI. 172192683-8

Quito, febrero de 2020.

DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR

Yo Alexander Águila Téllez declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el Proyecto Técnico, **“ANÁLISIS DE CALIDAD Y CONFIABILIDAD DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL IESS HOSPITAL DE ESPECIALIDADES CARLOS ANDRADE MARÍN.”** realizado por Guillermo Alejandro Rodríguez Morocho, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana, para ser considerado como trabajo final de titulación.

Quito, febrero de 2020



Alexander Águila Téllez

C.I. 1755983184

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a todas las personas que en el transcurso de mi vida me han brindado su ayuda y apoyo incondicional aun en las condiciones más difíciles.

A mis padres Guillermo Washington Rodríguez Morales y Betsabet del Rocío Morocho Izurieta, por todo el esfuerzo, sacrificio y amor incondicional, demostrando que con perseverancia se puede alcanzar los sueños.

A mis tres hermanos Paúl, Gabriel y Yoselyn Rodríguez, por su apoyo y comprensión para poder alcanzar mis metas; quedando este trabajo como un ejemplo de constancia, paciencia y esfuerzo.

AGRADECIMIENTOS

En esta oportunidad quiero agradecer a Dios por permitirme culminar mi carrera profesional de manera satisfactoria, siendo siempre mi fortaleza y mi guía para hacer lo correcto a lo largo de mi vida.

A mi director de tesis Alexander Águila Téllez, que con su vasto conocimiento me ha sabido guiar en el desarrollo de esta memoria técnica, a los docentes que, con su dedicación y esmero, semestre a semestre me han brindado sus conocimientos; forjando el carácter y responsabilidad para alcanzar las metas propuestas.

Al Hospital de Especialidades Carlos Andrade Marín en especial a la Unidad de Transporte, Seguridad y Guardianía, Construcción y Mantenimiento de Edificios en las personas de Ing. Sofía Sarzosa que con su tiempo y paciencia me brindo su ayuda sin ningún interés, al Ing. Christian Jaigua por proporcionarme su apoyo en el desarrollo de mi memoria técnica que servirá de valioso aporte para esta casa de salud.

Al Departamento de Ingeniería de la Empresa INSELMED, en especial al Ing. Francisco Quiroga M.Sc. que además de ser mi supervisor se convirtió en un mentor de la vida profesional y un gran amigo.

A mis amigos y socios Ing. José Luis Paredes y Ing. Jorge Barrera con quienes inicié mi vida universitaria llegando hacer colaboradores de nuestra propia empresa, mediante la cual desarrollamos proyectos de ingeniería a nivel nacional.

ÍNDICE

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR	i
DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR	ii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTOS	iv
ÍNDICE	v
GLOSARIO	xiii
RESUMEN.....	xv
ABSTRACT	xvi
INTRODUCCIÓN	xvii
CAPÍTULO I.....	1
MARCO TEÓRICO	1
<i>1.1 Introducción.....</i>	<i>1</i>
<i>1.2 Tipos de cargas no lineales [13].....</i>	<i>2</i>
<i>1.3 Tipos de perturbaciones que afectan la calidad de energía</i>	<i>2</i>
1.3.1 Transitorios	2
1.3.2 Variaciones de corta duración	3
1.3.2.1 Variaciones de larga duración	4
1.3.2.2 Distorsión de la forma de onda	4
1.3.3 Desbalance de voltaje.....	5
1.3.4 Fluctuaciones de voltaje	5
1.3.5 Variaciones de frecuencia	6
<i>1.4 Normas Relacionadas</i>	<i>6</i>
1.4.1 EN 50160 [2].....	6
1.4.1.1 Límites de Bajo voltaje	6
1.4.1.2 Límites de medio voltaje	7
1.4.2 IEC 61000-3-2 [3]	7
1.4.3 IEC 61000-2-4.....	10
1.4.4 IEC 61000-4-30.....	11
1.4.5 IEEE 1100 [19] [20].....	12
1.4.6 IEEE 1159	14
1.4.7 IEEE 519	15
1.4.8 NFPA 99	17
1.4.8.1 Lineamientos principales del capítulo 4 de la NFPA.....	17
1.4.8.2 Lineamientos principales del capítulo 8 de la NFPA.....	18
1.4.8.3 Lineamientos principales del anexo D de la NFPA	18
1.4.9 ARCONEL 005/18 [21]	19

1.4.10	IEC 555-2	21
1.5	<i>Confiabilidad de los sistemas eléctricos.</i>	21
1.5.1	Índices de confiabilidad	22
1.5.1.1	SAIFI.....	22
1.5.1.2	SAIDI.....	22
1.5.1.3	CAIDI.....	22
1.5.1.4	CTAIDI	23
1.5.1.5	CAIFI	23
1.5.1.6	ASAI	23
1.5.1.7	ENS	24
1.5.1.8	AENS	24
1.5.1.9	ACCI.....	24
1.5.1.10	ASIFI.....	25
1.5.1.11	ASIDI.....	25
1.5.2	Curva de Bañera.....	25
1.5.3	Método de zonas y ramas	27
CAPÍTULO II	29
HOSPITAL DEL IEES CARLOS ANDRADE MARÍN (HCAM)	29
2.1	<i>Generalidades del Hospital Carlos Andrade Marín.</i>	29
2.1.1	Ubicación del Hospital	29
2.2	<i>Situación actual.</i>	32
2.2.1	Medicina Nuclear	32
2.2.1.1	Diagrama unifilar del área de medicina nuclear.	33
2.2.1.2	Pararrayos.....	33
2.2.2	Cámaras de transformadores del HCAM	34
2.2.3	UPS del HCAM	37
CAPITULO III	42
ANÁLISIS DE LA CALIDAD DE ENERGÍA EN EL HOSPITAL CARLOS ANDRADE MARÍN	42
3.1	<i>Instrumento de medición de la calidad de energía</i>	42
3.1.1	Consideraciones importantes del Fluke 435-II	43
3.1.2	Puntos de medición	43
3.1.3	Generalidades sobre las mediciones de calidad de energía.....	43
3.2	<i>Análisis de las mediciones de calidad de energía del HCAM</i>	44
3.2.1	Análisis de armónicos	52
3.3	<i>Comparación de los valores obtenidos con las normas nacionales e internacionales.</i>	57
CAPÍTULO IV	60
SOLUCIONES A LA MEJORA DE LA CALIDAD Y CONFIABILIDAD DEL HOSPITAL CARLOS ANDRADE MARÍN	60
4.1	<i>Nuevo diseño malla de puesta a tierra de la malla general 3</i>	60

4.2	<i>Instalación de un nuevo sistema de protección contra rayos en el Bloque de Medicina Nuclear.....</i>	65
4.3	<i>Reubicación de la carga del HCAM en tres cámaras de transformación</i>	66
4.3.1	Modelación en PowerFactory	69
4.3.2	Malla de puesta a tierra de la cámara de transformación CT1 propuesta. 73	
4.4	UPS	74
4.5	TVSS.....	82
4.6	Adquisición de un D-STATCOM.....	84
4.7	<i>Análisis de Confiabilidad del área de Medicina Nuclear y el Bloque 2 del HCAM.</i>	86
4.7.1	Determinación del diagrama de zonas y ramas.....	87
4.7.2	Cálculos de confiabilidad	89
4.7.2.1	Tasa de falla	89
4.7.2.2	Tasa de Desconexión Anual.....	90
4.7.2.3	Matriz $r(z, k)$	93
4.7.2.4	Matriz RIA	94
4.7.2.5	Cálculo de λT y λrT	101
4.7.2.6	Resultados del sistema base	102
4.7.2.7	Resultados del sistema mejorado	104
4.7.3	Análisis de Resultados	105
	CONCLUSIONES.....	107
	RECOMENDACIONES.....	108
	BIBLIOGRAFÍA.....	109

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Transitorio de impulso.....	3
Figura 2. Diagrama de flujo de la norma IEC 61000-3-2	9
Figura 3. Esquema típico del monitoreo de calidad de energía	15
Figura 4. Curva de bañera.	26
Figura 5. Sistema industrial asociado a zonas y ramas	28
Figura 6. Diagrama lineal de zonas y ramas, obtenido de la Figura 3.	28
Figura 7. Ubicación del HCAM.	29
Figura 8. Diagrama unifilar del área de medicina nuclear	33
Figura 9. Voltaje máximo LN	44
Figura 10. Voltaje mínimo LN.....	45
Figura 11. Voltaje del neutro	45
Figura 12. Corriente máxima L1, L2, L3	46
Figura 13. Corriente Mínima L1, L2, L3	46
Figura 14. Corriente del Neutro	47
Figura 15. Variación de Frecuencia	47
Figura 16. Desequilibrio Vn.....	48
Figura 17. Desequilibrio Vz.....	48
Figura 18. Desequilibrio An.....	49
Figura 19. Factor de potencia.....	50
Figura 20. Distorsión armónica de voltaje de la fase 1 (VL1N)	50
Figura 21. Distorsión armónica de voltaje de la fase 2 (VL2N)	51
Figura 22. Distorsión armónica de voltaje de la fase 3 (VL3N)	51
Figura 23. Distorsión armónica de voltaje del neutro (VNG).....	52
Figura 24. Severidad del Parpadeo Plt	52
Figura 25. Armónicos del voltaje de la fase 1	53
Figura 26. THD y armónicos hasta el orden 7 del voltaje de fase 1	53
Figura 27. Armónicos del voltaje de la fase 2.....	54
Figura 28. THD y armónicos hasta el orden 7 del voltaje de fase 2	54
Figura 29. Armónicos del voltaje de la fase 3.....	55
Figura 30. THD y armónicos hasta el orden 7 del voltaje de fase 3	55
Figura 31. Armónicos del voltaje del neutro.....	56

Figura 32. THD y armónicos hasta el orden 7 del voltaje del neutro.	56
Figura 33. Medición de resistencia de malla de tierra	61
Figura 34. Valor de resistencia medido.	62
Figura 35. Vista superior de la ubicación del pararrayos en el bloque de Medicina Nuclear	65
Figura 36. Esquema de los pararrayos existentes, y del propuesto para Medicina Nuclear	66
Figura 37. Situación actual del HCAM, con transformadores del año 1967 para el Bloque Central	70
Figura 38. Situación futura del HCAM, con la propuesta de mejora de los transformadores del Bloque Central.....	72
Figura 39. Resistividad obtenida con un medidor Fluke 1625.	73
Figura 40. Malla de puesta a tierra de la cámara CT1 de transformación propuesta.74	
Figura 41. UPS 120 KVA del subsuelo-Bloque 2	75
Figura 42. UPS 160 kVA del subsuelo- Bloque 1	75
Figura 43. UPS 100 kVA de la planta baja- Bloque 3	76
Figura 44. UPS del Data Center; uno de 10 kVA a la izquierda, y otro de 8 kVA a la derecha	76
Figura 45. Cuatro UPS de 12 kVA, Recuperación Norte	77
Figura 46. UPS 80 kVA, Recuperación Norte	77
Figura 47. UPS 80 KVA, Obstetricia Sur	78
Figura 48. UPS 30 kVA – UCI SUR	79
Figura 49. UPS 30 kVA- UCI Norte.....	80
Figura 50. Clases de TVSS según la ubicación	83
Figura 51. Diagrama de línea de Zonas y Ramas	88

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Armónicos de voltaje individuales permitidos en los puntos de alimentación	7
Tabla 2. Clasificación de equipos según norma IEC 61000-3-2.....	8
Tabla 3. Límites de armónicos para los equipos de clase A	8
Tabla 4. Límites de armónicos para los equipos de clase B.....	8
Tabla 5. Límites de armónicos para los equipos de clase C.....	8
Tabla 6. Límites de armónicos para los equipos de clase D	10
Tabla 7. Límites de perturbaciones de voltaje para clase 2.....	10
Tabla 8. Armónicos según la clase del equipo	11
Tabla 9. Perturbaciones y sus afectaciones en distintas cargas.....	13
Tabla 10. Tipos de perturbaciones según la norma IEEE 1159	14
Tabla 11. Límites de distorsión armónica de voltaje	16
Tabla 12. Límites de distorsión de corriente para sistemas entre 120 V y 69 kV.....	16
Tabla 13. Límites de interarmónicos de voltaje para PAC menores a 1 kV	17
Tabla 14. Agrupación según los niveles de voltaje.....	19
Tabla 15. Rangos para el nivel de voltaje	20
Tabla 16. Límites máximos de armónicos	20
Tabla 17. Detalle de las áreas del subsuelo del HCAM.....	30
Tabla 18. Detalle de las áreas de la planta baja del HCAM.....	30
Tabla 19. Detalle de las áreas del piso 1 (planta alta 1) del HCAM	31
Tabla 20. Detalle de las áreas del piso 2 (planta alta 2) del HCAM	31
Tabla 21. Detalle de las áreas del piso 3 (planta alta 3) del HCAM	31
Tabla 22. Detalle de las áreas del piso 4 (planta alta 4) del HCAM	31
Tabla 23. Detalle de las áreas del piso 5 (planta alta 5) del HCAM.	32
Tabla 24. Detalle de las áreas del piso 6 (planta alta 6) del HCAM.....	32
Tabla 25. Cámaras actuales de transformación.....	35
Tabla 26. Cámaras actuales de transformación.....	36
Tabla 27. UPS del Bloque 1 del HCAM ubicados en el subsuelo	37
Tabla 28. UPS del Bloque 2 del HCAM ubicados en el subsuelo	38
Tabla 29. UPS del Bloque 2 del HCAM ubicados en el piso 1.....	38
Tabla 30. UPS del Bloque 2 del HCAM ubicados en el piso 4.....	39

Tabla 31. UPS del Bloque 2 del HCAM ubicados en el piso 5.....	39
Tabla 32. UPS del Bloque 3 del HCAM ubicado en la planta baja	39
Tabla 33. UPS del Bloque 2 del HCAM ubicados en el piso 2.....	40
Tabla 34. UPS del Bloque de Medicina Nuclear ubicados en la planta baja	41
Tabla 35. Características Fluke 345	42
Tabla 36. Límites de calidad de energía según normas nacionales e internacionales	57
Tabla 37. Comparación de las mediciones realizadas con la norma.....	57
Tabla 38. Comparación de los armónicos de voltaje de fase con las normas	58
Tabla 39. Comparación de los armónicos de los voltajes de fase con las normas	58
Tabla 40. Comparación de los armónicos del voltaje de neutro con las normas	59
Tabla 41. Comparación de armónicos pares según norma ecuatoriana y americana	59
Tabla 42. Datos del suelo	63
Tabla 43. Geometría de la malla de tierra	63
Tabla 44. Parámetros eléctricos	64
Tabla 45. Conductor de la malla	64
Tabla 46. Factores de paso y toque	64
Tabla 47. Parámetros calculados con el diseño de puesta a tierra.	65
Tabla 48. Reubicación y retiro de transformadores	67
Tabla 49. Nueva disposición de las cámaras de transformación.....	68
Tabla 50. Propuesta de mejora de transformadores del Bloque Central	71
Tabla 51. Cálculo de Malla a Tierra.....	73
Tabla 52. Área de servicio UPS, Recuperación Norte	78
Tabla 53. Área de servicio UPS, Recuperación Norte	78
Tabla 54. Área de servicio UPS, Obstetricia Sur	78
Tabla 55. Área de servicio UPS- UCI Sur	79
Tabla 56. Área de servicio UPS- UCI Norte.....	80
Tabla 57. Acciones recomendadas para los UPS del Hospital Carlos Andrade Marín	81
Tabla 58. Ventajas y desventajas de los UPS, TVSS y D-STATCOM	86
Tabla 59. Índices de falla equipos del sistema	89
Tabla 60. Matriz FZB del sistema base.....	92
Tabla 61. Matriz FBZ del sistema con mejoras	93

Tabla 62. Matriz $r(z, k)$	94
Tabla 63. Matriz RIA: Zonas 1 a 11; Ramas: 1 a 12.....	95
Tabla 64. Matriz RIA: Zonas 12 a 25; Ramas: 1 a 12.....	96
Tabla 65. Matriz RIA: Zonas 1 a 5; Ramas: 13 a 25.....	97
Tabla 66. Matriz RIA: Zonas 6 a 11; Ramas: 13 a 25.....	98
Tabla 67. Matriz RIA: Zonas 12 a 18; Ramas: 13 a 25.....	99
Tabla 68. Matriz RIA: Zonas 19 a 25; Ramas: 13 a 25.....	100
Tabla 69. Matriz RIA luego de realizar los cálculos.....	101
Tabla 70. Índices de falla por zonas.....	102
Tabla 71. Índices de falla totales por zonas	103
Tabla 72. Índices de falla por zonas.....	104
Tabla 73. Índices de falla totales por zonas	105

GLOSARIO

- **Armónico:** es una componente de frecuencia de determinada cantidad periódica (ej.: voltaje, corriente) que es múltiplo entero de la frecuencia a la que opera el sistema de alimentación. Por ejemplo, en un sistema de 60 Hz, el quinto armónico es 300 Hz. [1]
- **Bajo voltaje:** cuando la magnitud de voltaje está por debajo de su valor nominal
- **Cliente:** comprador de electricidad o usuario final que recibe la energía de una empresa distribuidora. [2]
- **Conversor analógico digital:**
- **Corriente armónica total:** es el valor eficaz de todas las componentes armónicas presentes en la corriente, generalmente desde el orden 2 al 40. [3]
- **Descarga electrostática (DE):** fenómeno responsable del daño o interferencia en componentes electrónicos.
- **Desequilibrio de fases:** es la cuantificación en porcentaje del desbalance del sistema eléctrico, es decir, es la cantidad que indica si existen fases del sistema que tienen mayor consumo que otras, en condiciones ideales en donde las fases de un sistema eléctrico tienen igual consumo, el desequilibrio es igual a cero.
- **Interarmónico:** es una componente de frecuencia de determinada cantidad periódica (ej.: voltaje, corriente) que no es múltiplo entero de la frecuencia a la que opera el sistema de alimentación [1].
- **Interrupción:** en términos del voltaje, una interrupción se da cuando la magnitud de voltaje es cero [4].
- **Falla:** es resultado de una perturbación externa o daño interno de un equipo que lo inhabilita para cumplir una función específica.
- **Flicker:** son variaciones rápidas y continuas en la magnitud de corriente de carga que causa variaciones de voltaje [5], cuya consecuencia más común es la variación del brillo de las lámparas, que produce molestia visual, fatiga, y desgaste en los componentes electrónicos.

- **Frecuencia del sistema eléctrico:** es considerada como el número de ciclos de corriente alterna transcurridos en un segundo, en nuestras redes eléctricas la frecuencia del sistema es de 60 Hertz.
- **Potencia de distorsión (d):** es aquella que es resultado de la contribución de las potencias generadas por la presencia de armónicos debido a la presencia de cargas no lineales, se mide en watts y no produce trabajo, más bien, produce pérdidas al sistema eléctrico.
- **Potencia aparente (s):** es la relación media cuadrática de las potencias P, Q y D y expresa la potencia total del circuito eléctrico, su expresión viene dada por $S = \sqrt{P^2 + Q^2 + D^2}$
- **Punto de acoplamiento común (PAC):** Para los consumidores industriales o comerciales, el punto de acoplamiento común es el lado primario del transformador que alimenta la instalación [6].
- **Plt:** índice de severidad del flicker de larga duración.
- **Probabilidad de falla:** es la probabilidad de que un componente salga de servicio o no cumpla su función de la manera esperada.
- **Pst:** índice de severidad del flicker de corta duración
- **Sag:** es una reducción del voltaje rms, de entre 0.1 a 0.9 pu, en un intervalo mayor a 10 ms y menor a 1 s.
- **Sobrevoltaje:** cuando la magnitud del voltaje se encuentra por encima de su valor nominal [4].
- **Swell:** es un incremento del voltaje rms, de entre 0.1 a 0.9 pu, en un intervalo mayor a 10 ms y menor a 1 s.
- **Tasa de falla:** describe la cantidad de fallas esperadas en un periodo de tiempo establecido.
- **Tiempo fuera de servicio:** periodo de tiempo en el que un componente que puede ser reparado no está en operación.

RESUMEN

En este trabajo de titulación se realiza un análisis de calidad y confiabilidad de energía eléctrica del Hospital Carlos Andrade Marín (HCAM) del IESS, uno de los hospitales de Nivel 3 del país. Para el estudio de calidad se utilizan las normas y criterios internacionales del Comité Europeo de Normalización (EN 50160); la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC 61000-3-2, IEC 61000-2-4, IEC 61000-4-30); el Instituto de Ingeniería Eléctrica y Electrónica (IEEE-1110, IEEE-1159, IEEE-519) y la Agencia de Regulación y Control del país (ARCONEL 005/18).

El punto de medición del análisis de calidad es la salida del Acelerador Lineal de electrones y se utiliza un analizador de energía FLUKE 435-II, debido a que permite reducir los tiempos de inactividad. El período de medición comprende los días del 22 al 30 de julio del 2019, satisfaciendo el intervalo mínimo requerido de 7 días dado por la normativa EN 50160. En base a los resultados se proponen mejoras de puesta a tierra, que permitirán eliminar los problemas del neutro.

También se realiza un análisis de la distribución de carga de las cámaras de transformación, un análisis de los Sistemas de Energía Ininterrumpida, UPS por sus siglas en inglés, y un análisis de confiabilidad basado en la metodología de cálculo de zonas y ramas en MATLAB. Para este último análisis solo se considera el área de Medicina Nuclear y el Bloque Central del HCAM, mientras que para los anteriores se consideran todas las áreas del hospital. Además, se modela el sistema equivalente, del área de Medicina Nuclear y el Bloque Central en PowerFactory 15.1, para evaluar el estado actual de los transformadores versus el estado esperado con las mejoras propuestas.

Para finalizar este trabajo, se plantea la adquisición de equipos de protección contra transitorios como TVSS, de compensadores estáticos como los D-STATCOM e incluso la instalación de un nuevo Pararrayos. Todo este análisis integral beneficiará a la institución tanto económicamente como técnicamente, al mejorar los índices de calidad y confiabilidad y reducir las fallas del sistema eléctrico. Los usuarios también se verán beneficiados, al ser atendidos por un hospital que cumpla las normas técnicas de calidad de energía eléctrica.

ABSTRACT

In this work, a power quality and a reliability analysis of the Carlos Andrade Marín Hospital (HCAM) of the IESS, one of the Level 3 hospitals in the country, is achieved. The international standards and criteria of the European Committee for Standardization (EN 50160); the International Electrotechnical Commission (IEC 61000-3-2, IEC 61000-2-4, IEC 61000-4-30); the Institute of Electrical and Electronic Engineering (IEEE-1110, IEEE-1159, IEEE-519) and the country's Regulation and Control Agency (ARCONEL 005/18) are used for the study; The measurement point of the quality analysis is the output of the Linear Electron Accelerator and a FLUKE 435-II energy analyzer is used, because it allows to reduce downtime. The measurement period includes the days from July 22 to 30, 2019, satisfying the minimum required interval of 7 days given by the EN 50160 standard. Based on the results, grounding improvements are proposed, which will allow eliminating the problems of neutral conductor.

Later, an analysis of the load distribution, the uninterruptible energy systems, UPS, and a reliability analysis based on the Zone- Branches reliability methodology in MATLAB are also performed. For this last analysis only the Nuclear Medicine area and the Central Block of the HCAM are considered, while for the previous ones all the hospital areas are considered. In addition, the equivalent system, of the Nuclear Medicine area and the Central Block in PowerFactory 15.1, is modeled to assess the current state of the transformers versus the expected state with the improved proposals. To complete this work, the acquisition of transient protection equipment such as TVSS, static compensators such as D-STATCOM and even the installation of a new lightning rod is proposed. All this comprehensive analysis will benefit the institution both economically and technically, by improving quality and reliability indices and reducing electrical system failures. Users will also benefit, being treated by a hospital that meets the technical standards of electrical energy quality.

INTRODUCCIÓN

Objetivo general:

- Realizar una propuesta de mejora y de acciones técnicas encaminadas a elevar los índices de calidad y confiabilidad del sistema eléctrico de potencia en el IESS hospital de especialidades Carlos Andrade Marín, mediante los estudios de las variables que intervienen en la calidad y confiabilidad de la potencia eléctrica basados en normativas nacionales e internacionales

Objetivos específicos:

- Analizar la confiabilidad en el sistema eléctrico
- Analizar las variables de calidad de energía
- Calcular y diseñar la propuesta de mejora

Alcance:

En el siguiente proyecto se plantea un análisis de calidad y confiabilidad de energía eléctrica en el IESS hospital de especialidades Carlos Andrade Marín, para lo cual se utilizará el analizador de energía FLUKE 435, a fin de verificar los límites superiores e inferiores de los parámetros energéticos establecidos por normas nacionales e internacionales EN 50160, IEC6100032, IEC6100024, IEC61000430, ESTÁNDAR IEEE1159, IEC5552, IEEE519, IEEE1100, NFPA99, ARCONEL 005/18, mediante el software PowerFactory 15.1 se ejecutará el flujo de potencia con el fin de asesorar técnicamente la continuidad del servicio eléctrico. El método que se utiliza es el de zonas y ramas el cual implementa métodos sistemáticos de codificación de estos para determinar los puntos de carga afectados por la salida de un componente cualquiera y facilitar el cálculo de los índices de confiabilidad.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1 Introducción

La calidad de la energía eléctrica está fuertemente relacionada con la calidad de las señales de voltaje y corriente de los sistemas eléctricos. Sin embargo, la distorsión de estas señales, debido a la presencia de cargas no lineales, provoca muchos inconvenientes en el funcionamiento de los equipos. En varias regiones del mundo se han creado estándares para controlar o mantener los niveles de perturbaciones por debajo de un valor especificado. Estas normas o estándares se detallan en los párrafos posteriores.

En los hospitales, los equipos con los últimos avances tecnológicos han permitido mejorar la efectividad de los tratamientos, sin embargo, al ser en su mayoría cargas no lineales [7], han causado que la distorsión de corriente sea un problema que debe tomarse en cuenta. Los computadores, equipos de radio terapia, de mamografía, etc. inciden en la calidad del suministro eléctrico. Esto puede verse reflejado en la iluminación, con la presencia de flicker, y puede ocasionar incomodidad a los pacientes y doctores del hospital. Pero también existen otras cargas ajenas al hospital, que pueden causar la deformación de las ondas voltaje y corriente debido a su interconexión con la misma red de electricidad.

Otro de los problemas de una mala calidad energética es la operación deficiente de los equipos, que puede originar procesos de interrupción [8] e incendios que resultan muy peligrosos para el personal que labora y que permanece dentro del hospital. Pero la baja calidad de energía no solo se observa en la operación de las máquinas, sino también en las pérdidas económicas en conductores y transformadores debido a los armónicos de corriente presentes en el sistema [9], [10], [11], [12]. Conocer que equipo está afectado y que equipo afecta a otros permite proponer soluciones que permitan mejorar los índices. Esto no se puede lograr sin un análisis integral de la calidad de energía. Por tanto se convierte en una tarea fundamental que debe llevarse a cabo de manera periódica.

1.2 Tipos de cargas no lineales [13]

Básicamente son tres los tipos de cargas no lineales:

- Cargas de fuentes de voltaje: incluyen dispositivos como filtros capacitivos instalados en computadores, cargadores de baterías, u otro tipo de accesorios para el hogar, y fuentes de suministro con rectificadores.
- Cargas de fuentes de corriente: casi todas las cargas no lineales se han representado como fuentes de corriente debido a que la onda de corriente alterna están distorsionadas. Como ejemplos se tienen los tiristores controlados por fase de rectificadores.
- Cargas que son una combinación de las dos anteriores, como los variadores de velocidad ajustables.

1.3 Tipos de perturbaciones que afectan la calidad de energía

En [6] se establece que el problema de la calidad de la energía es cualquier manifestación en el voltaje, corriente o desviación de frecuencia que resulta en la operación defectuosa de un equipo. Partiendo de esta definición se listan las siguientes perturbaciones de voltaje:

- Transitorios.
- Variaciones de corta duración.
- Variaciones de larga duración.
- Desbalance.
- Distorsión de la forma de onda.
- Fluctuaciones.
- Variaciones de frecuencia.

1.3.1 Transitorios

Son sobrevoltajes de corta duración, generalmente de pocos milisegundos o menos. Se clasifican en dos grandes grupos: sobrevoltajes de impulso y sobrevoltajes de maniobra.

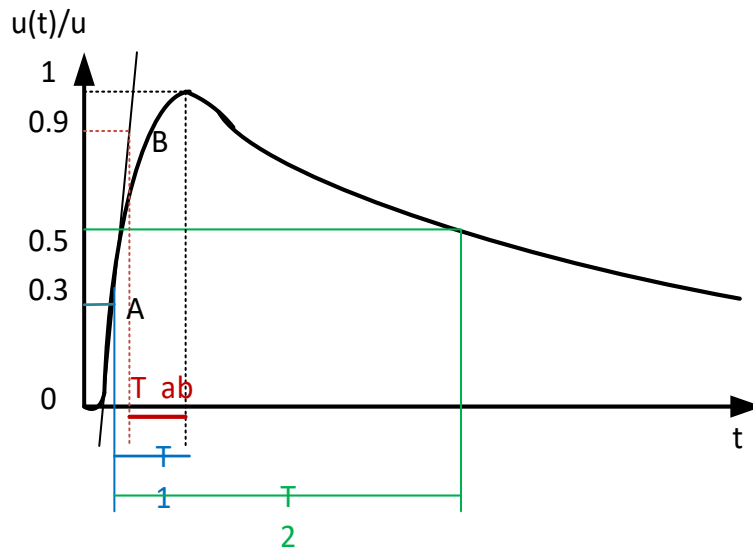


Figura 1. Transitorio de impulso
Fuente: [14]

- *Transitorios de impulso:* el mayor causante de este tipo de perturbaciones es la caída de rayos [6]. Los impulsos se definen por los tiempos de frente de onda, T_1 y de cola, T_2 tal como se observa en la Figura 1. La onda estándar es aquella que cumple con $T_1=1,2 \mu s$ y $T_2=50 \mu s$. Se debe tener especial consideración sobre estos transitorios, debido a que su presencia puede provocar transitorios oscilatorios.
- *Transitorios oscilatorios:* son causados por la desconexión, energización, conexión de equipos, y pueden tener polaridad tanto positiva como negativa. Una subclasificación de estos transitorios es en base al contenido espectral de la frecuencia: alta, media o baja frecuencia.

Los transitorios también pueden clasificarse en:

- Transitorios de frente lento: su tiempo para alcanzar el pico, T_1 , es mayor a $20 \mu s$ y menor a $5000 \mu s$; y su tiempo de cola, T_2 , es menor a $20 ms$.
- Transitorios de frente rápido: su tiempo para alcanzar el pico, T_1 , es menor a $20 \mu s$; y su tiempo de cola, T_2 , es menor a $300 \mu s$.
- Transitorios de frente muy rápido: su duración total es menor a $3 ms$ [15].

1.3.2 Variaciones de corta duración

Estas variaciones denominadas sag, swell, son provocadas por:

- condiciones de falla.
- energización de grandes cargas con elevadas corrientes de arranque.
- conexiones intermitentes con el suministro de energía.

Se prefieren los términos en inglés sags o swells, haciendo referencia a una caída o subida de voltaje respectivamente. En las normas IEC el término preferido para una subida de voltaje es dip [6], en vez de sag. Dentro de estas variaciones también se incluyen las interrupciones que ocurren cuando el voltaje de alimentación o la corriente de carga decaen a menos de 0.1 pu por unidad (pu).

Para que se considere sag (dip) el voltaje o corriente rms se debe reducir entre 0.1 y 0.9 pu para duraciones entre 0.5 ciclos y 1 minuto.

Los swells se definen como incrementos entre 1.1 y 1.8 pu del voltaje o corriente rms por una duración entre 0.5 ciclo y 1 minuto.

1.3.2.1 Variaciones de larga duración

Pueden ser sobrevoltajes o bajos voltajes provocados por variaciones de carga, con duraciones mayores a 1 minuto. Un sobrevoltaje implica el incremento del voltaje rms en más del 110%, mientras que un bajo voltaje es el decremento del voltaje rms en menos del 90%. Las causas de sobrevoltajes más comunes son las desconexiones de cargas y la energización de bancos de capacitores. Sucede de manera análoga para los bajos voltajes, pero a las causas se suman los circuitos sobre cargados.

1.3.2.2 Distorsión de la forma de onda

La distorsión puede ser provocada por:

- Dc offset: una señal continua de corriente o voltaje provocada por los convertidores de potencia electrónicos. En algunos casos puede saturar el núcleo de transformadores en condiciones normales.
- Armónicos: son componentes del voltaje o corriente con frecuencia distinta a la fundamental (60 Hz). Los armónicos generan efectos negativos tanto en los sistemas de generación, transmisión, distribución como en los equipos de los usuarios finales [4].
- Interarmónicos: la definición es similar a la de los armónicos, con la diferencia de que la frecuencia de estas señales de voltaje o corriente es un múltiplo no entero de la frecuencia fundamental (60 Hz). Son producto de la interacción de

los convertidores estáticos de frecuencia, ciclo-convertidores, hornos de inducción y de arco con la red eléctrica.

- Notching: ocurren continuamente en los sistemas eléctricos y aparecen como consecuencia de la operación de dispositivos electrónicos, en especial cuando se conmuta corriente de una fase a otra.
- Ruido: sin dudas es el más común, y el que generalmente afecta a los equipos de medición, llevando a mediciones no tan confiables. El ruido es una señal eléctrica, con contenido espectral menor a 2 kHz, que se suma a la señal de voltaje de suministro. Los diseños defectuosos de puesta a tierra, circuitos electrónicos, cargas con elementos de estado sólido, entre otras, son algunas de las causas del ruido.

1.3.3 Desbalance de voltaje

El desbalance de voltaje considerando un sistema trifásico y en concordancia con la definición dada en [6] como “la relación entre la máxima desviación respecto al promedio de las 3 fases dividido para el promedio de las tres fases” [16], se puede expresar por la ecuación (1):

$$\text{Desbalance} = \frac{\max((V_a - V_{abc}), (V_b - V_{abc}), (V_c - V_{abc}))}{V_{abc}} \quad (1)$$

En donde:

$V_{abc} = \frac{V_a + V_b + V_c}{3}$: es el promedio del voltaje entre las tres fases, y

$\max(V_a - V_{abc}, V_b - V_{abc}, V_c - V_{abc})$: es la máxima desviación del voltaje de una fase con respecto a V_{abc} .

1.3.4 Fluctuaciones de voltaje

Son variaciones de voltaje nominal, según la norma ANSI C84.1- 1982. Es decir, el voltaje puede incrementarse hasta el 110%, o reducirse hasta el 90 % [4]. Se clasifican en:

- Fluctuaciones cíclicas con respecto al tiempo.
- Fluctuaciones de voltaje aleatorias respecto al tiempo.
- Cambios del paso de voltaje regulares o irregulares respecto al tiempo.

Son causas comunes de este fenómeno los hornos de arco, variadores de velocidad que sufren cambios bruscos de carga, soldadoras, laminadoras, entre otras.

1.3.5 Variaciones de frecuencia

Para caracterizar la frecuencia nominal de un sistema, se utilizan índices de desviación de frecuencia con respecto a su valor nominal. Para calcularlos, la medición de frecuencia se debe realizar cada 10 segundos [15].

Aunque la variación de frecuencia está relacionada directamente con la velocidad de rotación de los generadores del sistema eléctrico, su efecto depende de la carga conectada. Cualquier cambio que supere los límites provocará daños indeseables como la pérdida de sincronismo. Pero estos problemas no suelen ocurrir de manera seguida los sistemas actuales, ya que todos los generadores de la red hacen que la inercia del sistema se grande. Sin embargo, cuando un único generador alimenta a una carga, por ejemplo, en condiciones de emergencia de hospitales, los problemas de variación de frecuencia si deben tenerse en cuenta en los estudios eléctricos.

1.4 Normas Relacionadas

1.4.1 EN 50160 [2]

En esta norma, se brindan las características generales de los voltajes suministrados por las redes eléctricas de distribución. No se consideran casos excepcionales en donde podrían no cumplirse los límites de voltaje, como factores climáticos, catástrofes naturales, huelgas u otras acciones de fuerza mayor.

Los criterios que determinan si la onda de voltaje cumple con las características de calidad son: frecuencia, amplitud, forma de onda y simetría en los voltajes trifásicos. Además, la norma se divide en dos grandes bloques que cubren bajo voltaje y medio voltaje.

1.4.1.1 Límites de Bajo voltaje

Aunque la frecuencia del voltaje de suministro que sostiene la norma es de 50 Hz, es importante conocer cómo los límites de variación del voltaje difieren a los de la norma ecuatoriana. La amplitud del voltaje nominal de la red eléctrica debe ser de 230 V, para 3 o 4 conductores por fase. Los límites de tensión nominal deben estar entre $\pm 10\%$ del valor nominal. Mientras que los valores promediados de valor eficaz deben estar entre + 10% y -15%.

Tabla 1. Armónicos de voltaje individuales permitidos en los puntos de alimentación

Armónicos impares					Armónicos pares	
No múltiplos de 3			Múltiplos de 3			
Orden del armónico	Voltaje relativo (%)		Orden del armónico	Voltaje relativo (%)	Orden del armónico	Voltaje Relativo (%)
5	6		3	5	2	2
7	5		9	1.5	4	1
11	3.5		15	0.5	6-24	0.5
13	3		21	0.5		
17	2					
19	1,5					
23	1,5					
25	1,5					

Fuente: [2]

1.4.1.2 Límites de medio voltaje

Se define como medio voltaje el nivel comprendido entre 1 y 35 kV. De la misma manera que en bajo voltaje, los rangos permitidos del voltaje están comprendidos entre 0.9 y 1.1 pu. Además, define que el número de fallas o interrupciones que sobrepasen los 10 minutos puede ser hasta 50. Para los armónicos de voltaje, el THDv total no debe ser superior al 8%. Los porcentajes de armónicos individuales, pares e impares se muestran en la Tabla 1. También es válida para bajo voltaje.

La norma también menciona que desequilibrio de voltaje, no debe ser mayor 2 %, aunque hay casos excepcionales según la región en donde se toleran desequilibrios del 3%. Y finalmente la norma indica que el límite de severidad del flicker de larga duración debe ser menor a o igual a 1, el 95% de las veces en el período de medición.

1.4.2 IEC 61000-3-2 [3]

IEC 61000-3-2 es la sección de la norma europea para mantener los límites de las emisiones de corriente armónica, en equipos electrónicos con corriente de entrada menor o igual a 16 A por fase. También deberán estar conectados a 220/380 V y 240/415 con frecuencias de operación de 50 a 60 Hz. Si las dos condiciones anteriores se cumplen, los equipos pueden ser de 4 clases distintas, tal como se muestra en la Tabla 2.

Para determinar la conformidad de los límites, es decir, para la aplicación del apartado 3-2 de la norma IEC 61000, se debe seguir el diagrama de flujo de la Figura 2. En la Tabla 3 se listan los límites para los equipos de clase A; en la Tabla 4, para los equipos

de clase B; en la Tabla 5, para los equipos de clase C y finalmente en la Tabla 6 se indican los límites de la clase D.

Tabla 2. Clasificación de equipos según norma IEC 61000-3-2

Clase A	Equipos trifásicos balanceados, equipo de uso doméstico, exceptuando los de clase d, herramientas varias, audio.
Clase B	Herramientas de uso portátil, y equipos con soldadura de arco
Clase C	Iluminaras
Clase D	Equipos con potencias menores a 600 w

Fuente: [2]

Tabla 3. Límites de armónicos para los equipos de clase A

Orden del armónico n	Corriente armónica admisible máxima (A)
3	2,30
5	1,14
7	0,77
9	0,40
11	0,33
13	0,21
$15 \leq 39$	$0,15 * 15/n$
Armónicos pares	
2	1,08
4	0,43
6	0,30
$8 \leq 40$	$0,23 * 8/n$

Fuente: [3]

Tabla 4. Límites de armónicos para los equipos de clase B

Orden del armónico n	Corriente armónica admisible máxima (A)
3	3,45
5	1,71
7	1,155
9	0,6
11	0,495
13	0,315
$15 \leq 39$	$0,225 * 15/n$
Armónicos pares	
2	1,62
4	0,645
6	0,45
$8 \leq 40$	$0,345 * 8/n$

Fuente: [3]

Tabla 5. Límites de armónicos para los equipos de clase C

Orden del armónico n	Corriente armónica admisible máxima en porcentaje de la corriente de entrada a 60 Hz (%)
2	2
3	30·fp (factor de potencia)
5	10
7	7
9	5
$11 \leq 39$	3

Fuente: [3]

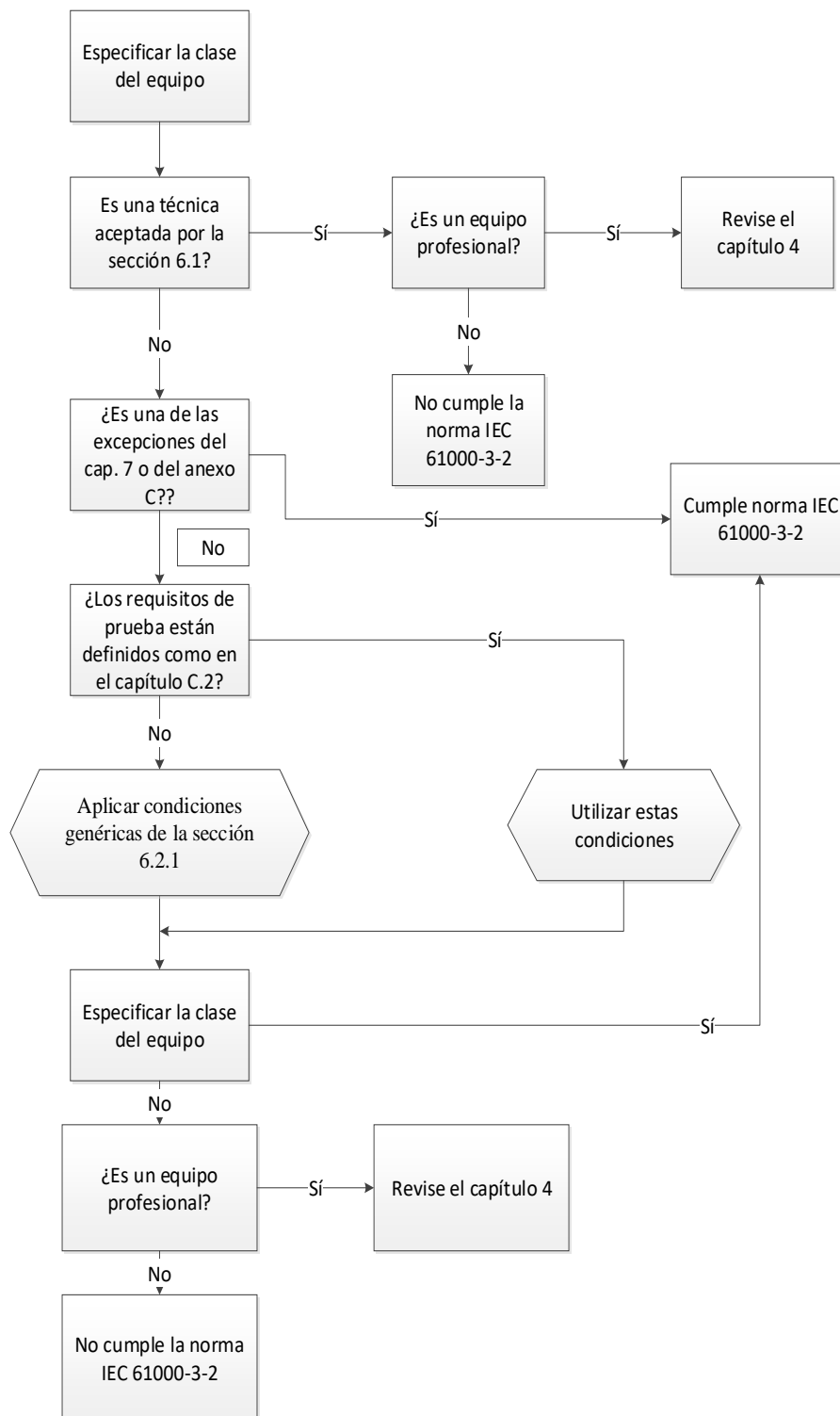


Figura 2. Diagrama de flujo de la norma IEC 61000-3-2
Fuente: [3]

Tabla 6. Límites de armónicos para los equipos de clase D

Orden del armónico n	Corriente armónica admisible máxima (A)
3	2,30
5	1,14
7	0,77
9	0,40
11	0,33
13 ≤ 11 ≤ 39	Valores de la tabla 3

Fuente: [3]

1.4.3 IEC 61000-2-4

Esta sección de la norma IEC 61000, denominada “Límites de compatibilidad en plantas industriales para perturbaciones de baja frecuencia”, se preocupa de los disturbios para frecuencias comprendidas entre 0 y 9 kHz y brinda niveles de compatibilidad para sistemas de distribución de hasta 35 kV con frecuencias fundamentales de 50- 60 Hz.

La norma determina las siguientes perturbaciones de voltaje son:

- Desviaciones de voltaje;
- Dips e interrupciones de corta duración;
- Desequilibrio de voltaje;
- Variaciones de la frecuencia fundamental;
- Armónicos e interarmónicos hasta el orden 50;
- Componentes de voltaje de alta frecuencia y componentes dc.
- Sobrevoltajes transitorios.

En la Tabla 7, se resumen algunos de los límites aceptables en baja tensión. Cabe resaltar que la norma trabaja con tres clases de redes industriales, siendo la clase 2 (Ambiente industrial para redes públicas) la que se toma en consideración en este trabajo. En la Tabla 8, se muestran los armónicos según la clase de equipo.

Tabla 7. Límites de perturbaciones de voltaje para clase 2

Perturbaciones de la fuente de suministro	Límites aceptables	Intervalo de medidas
Frecuencia de la red	45.5- 50.5 Hz	10 s
Cambios suaves de voltaje	±8%	10 min
Sags de voltaje ≤ 1 min	100 veces (redes aéreas)	10 s
	10-100 veces (redes subterráneas)	
Interrupciones cortas ≤ 3 min	10-100 veces por año	10 ms
Transitorios de sobre voltaje	Generalmente < 6 kV	N/A
Desbalance de voltaje	2%	10 min
Armónicos del voltaje	THD de 8%	10 min

Fuente: [17]

Tabla 8. Armónicos según la clase del equipo

Armónico de orden n	Clase 1 Equipos electrónicos sensibles (% Voltaje nominal)	Clase 2 Entorno industrial de redes públicas (% Voltaje nominal)	Clase 3 Entorno degradado (% Voltaje nominal)
2	2	2	3
3	3	5	6
4	1	1	1.5
5	3	6	8
6	0.5	0.5	1
7	3	5	7
8	0.5	0.5	1
9	1.5	1.5	2.5
10	0.5	0.5	1
>10, múltiplos de 2	0.2	0.2	1
11	3	3.5	5
13	3	3	4.5
15	0.3	0.3	2
17	2	2	4
19	1.5	1.5	4
21	0.2	0.2	1.75
>21, múltiplos de 3	0.2	0.2	1
23	1.5	1.5	3.5
25	1.5	1.5	3.5
>25, no múltiplos de 2 ni 3	$0.2 + 12.5/n$	$0.2 + 12.5/n$	$5 \times \sqrt{11/n}$
THD (V)	5%	8%	10%

Fuente: [17]

1.4.4 IEC 61000-4-30

Esta sección de la norma 61000-4 brinda una estandarización de los métodos de medición con la finalidad de poder comparar los resultados entre diferentes analizadores de energía. Los parámetros que se toman en cuenta son:

- Frecuencia, magnitud, fluctuaciones, interrupciones, desequilibrios y cambios rápidos del voltaje de alimentación.
- Flicker.
- Armónicos e interarmónicos.
- Transmisión de señales a través de la alimentación.

Básicamente, existen dos clasificaciones en esta norma con respecto a los equipos de medición. Por un lado, se encuentran los equipos que cumplen con todos los requisitos de medición y se denominan equipos de clase A, y por otro lado se tienen los equipos de clase B, que podrán ser usados en investigaciones, estudios, o aplicaciones que no necesiten alta precisión.

En relación con los parámetros mínimos de los equipos de clase A, se listan los siguientes [18]:

- Flicker: se mide en un ciclo del voltaje senoidal, y se restaura cada medio ciclo para combinar alta precisión con mayor resolución.
- Intervalos de compresión de datos: 200 ms, 3 segundos, 10 minutos acorde a la hora UTC, y cada 2 horas para el flicker.
- Para sincronizar la hora real, la precisión es de 16,7 ms a 60 Hz.
- Para computar los armónicos el cálculo debe ser realizado con la Transformada Rápida de Fourier, con el fin de que los distintos instrumentos de medición alcancen valores muy similares.

1.4.5 IEEE 1100 [19] [20]

Este estándar presenta una serie de buenas prácticas para energizar y poner a tierra equipo electrónico de uso comercial en aplicaciones industriales. En el primer capítulo se tratan las definiciones relacionadas a la calidad de la energía y sus perturbaciones. Otro capítulo se centra en los lineamientos y descripciones de los ambientes eléctricos en donde los equipos electrónicos sensibles son operados. En general, se dan soluciones frente a sags de voltaje, puestas a tierra inapropiadas, caída de rayos, protección contra el ruido, curvas como la CBEMA, etc.

En capítulos posteriores se habla de los conceptos principales a la hora de diseñar interconexiones libres de riesgos con los sistemas de potencia. Esto implica consideraciones especiales como regímenes de alta y baja frecuencia, interacciones entre cargas y fuentes de suministro, arrestadores de voltaje, puesta a tierra y protección de subsistemas, etc.

Dentro de los requerimientos de puesta a tierra se establecen los siguientes:

- Proveer de un camino de baja impedancia para el regreso de las corrientes de falla, de tal manera que los sistemas de protección de sobrecorriente actúen rápidamente para limpiarla.
- Mantener una diferencia de potencia cercana a cero en las partes metálicas expuestas, para reducir el número de incidentes del personal operante.
- Controlar la aparición de sobrevoltajes.

Así mismo, dentro de las posibles causas de una mala puesta a tierra lista las siguientes:

- Cables de datos con longitudes mayores a 8 metros, y cables coaxiales espiralados mayores a 30 metros.
- Distancias grandes entre los puntos de tierra comunes, cuando cualquiera de los componentes está en un circuito o tablero distinto, o en el peor de los casos, en la entrada de otro sistema de suministro.
- La exposición de corrientes transitorias en conductores cercanos.

Para proteger equipo sensible se recomienda utilizar:

- Protección contra el ruido;
- Protección contra transitorios, y
- Protección contra sags.

En los últimos capítulos se cubren prácticas de diseño e instalación para poner a tierra de manera correcta equipo electrónico sensible, sistemas de computación distribuidos y equipo de telecomunicaciones. Finalmente, el libro cierra con historias del mundo real para resaltar la importancia de las buenas prácticas en los sistemas de puesta a tierra. En la Tabla 9, se muestran las perturbaciones y sus afectaciones en distintos tipos de carga según la norma aquí revisada.

Tabla 9. Perturbaciones y sus afectaciones en distintas cargas

Parámetros del voltaje que afectan cargas	Unidades afectadas	Daños
Sobre y bajo voltaje	Capacitores, motores, fuentes de poder	Calentamiento excesivo y pérdida de datos.
Swells/sags	Ruptura dieléctrica.	Falla del componente y pérdida de datos
Transitorios de impulso y oscilatorios	Circuitos de comunicaciones. Ruptura dieléctrica.	Falla del componente, cambios bruscos en la señal de referencia
Descargas Electrostáticas (DE)	Circuitos de comunicaciones.	Pérdida de datos, cambios bruscos en la señal de referencia
Interferencia de radio frecuencia, e interferencia electromagnética	Reguladores de voltaje, filtros capacitivos, bancos de capacitores	Sobrecalentamiento, descarga
Distorsión de voltaje	Rectificadores polifásicos	Sobrecalentamiento.
Desbalance de fase		

Fuente: [20]

1.4.6 IEEE 1159

La importancia de esta norma radica en la definición acotada y precisa que realiza de muchas de las perturbaciones de la calidad de energía. En la Tabla 10, se muestra la clasificación de estas perturbaciones junto con las magnitudes de voltaje resultantes. Una vez definidas, se aborda el capítulo de monitoreo, necesario para caracterizar los fenómenos de compatibilidad electromagnética. Dicho esto, en la Figura 3 se muestra el esquema típico del monitoreo de la calidad de energía.

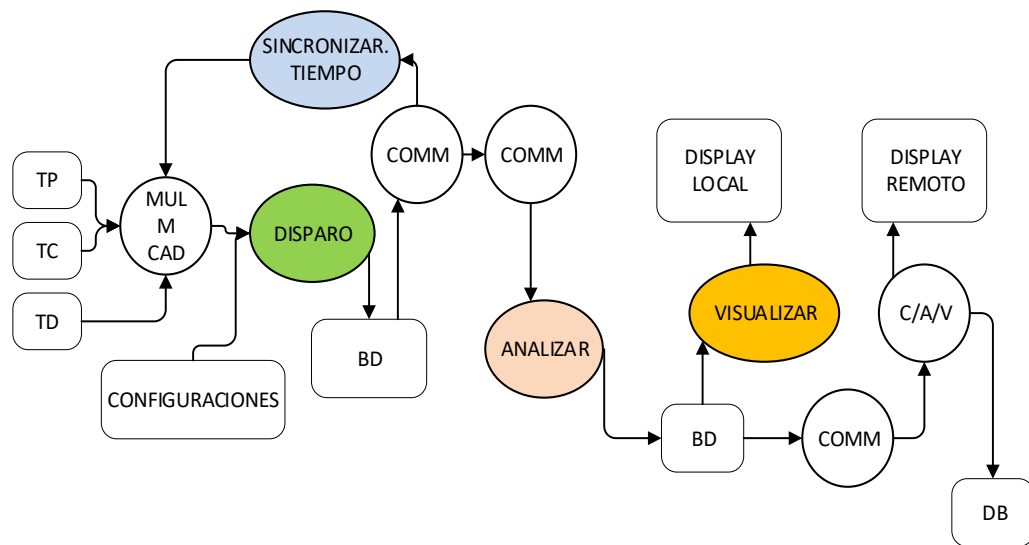
Tabla 10. Tipos de perturbaciones según la norma IEEE 1159

Categorías	Magnitud de voltaje
<i>1.0. Transitorios</i>	
1.1. Impulsivos	-
1.1.1. Nanosegundos	-
1.1.2. Microsegundos	-
1.1.3. Milisegundos	-
1.2. Oscilatorios	-
1.2.1. Baja frecuencia	0-4 pu
1.2.2. Media frecuencia	0-8 pu
1.2.3. Alta frecuencia	0-4 pu
<i>2.0. Variaciones rms cortas</i>	
2.1. Variaciones instantáneas (0.5-30 ciclos)	
2.1.1. Sag	0.1-0.9 pu
2.1.2. Swell	1.1-1.8 pu
2.2. Variaciones momentáneas (30 ciclos-3 segundos)	
2.2.1. Interrupciones	<0.1 pu
2.2.2. Sag	0.1-0.9 pu
2.2.3. Swell	1.1-1.4 pu
2.3. Variaciones Temporales (>3 segundos- 1 minuto)	
2.3.1. Interrupciones	<0.1 pu
2.3.2. Sag	0.1-0.9 pu
2.3.3. Swell	1.1-1.2 pu
<i>3.0. Variaciones rms largas (>1min)</i>	
3.1. Interrupción sostenida	0.0 pu
3.2. Bajo voltaje	0.8-0.9 pu
3.3. Sobrevoltaje	1.1-1.2 pu
3.4. Sobrecarga de corriente	-
<i>4.0. Desbalance</i>	
4.1. Voltaje	0.5-2%
4.2. Corriente	1.0-30%
<i>5.0. Distorsión de la forma de onda</i>	
5.1. Offset DC	0- 0.1%
5.2. Armónicos	0-20%
5.3. Interarmónicos	0-2%
5.4. Notch	-
5.5. Ruido	0-1%
<i>6.0. Fluctuaciones de voltaje</i>	0.1-7%; 0.2-2 Pst
<i>7.0. Variaciones de frecuencia</i>	±0.1 Hz

Fuente: [8]

En los capítulos finales del documento constan algunos consejos que deberán ser tomados en cuenta en el análisis de energía. Por ejemplo:

- Validar los datos antes de analizarlos
- Determinar eventos críticos a partir de todas las perturbaciones.
- Tener en cuenta la duración en la clasificación de las perturbaciones
- Verificar el tiempo del día, la frecuencia de ocurrencia, entre otros.



En donde:

TP: transformador de potencial; CT: transformador de corriente
 TD: transductor; MUL: multiplicador; M: muestra; CAD: conversor
 analógico digital; BD: base de datos; COMM: enlace de comunicación;
 C/A/V: enlace de comunicación, análisis y verificación.

Figura 3. Esquema típico del monitoreo de calidad de energía
 Fuente: [8]

1.4.7 IEEE 519

En esta norma se indican las prácticas recomendadas y los requerimientos para controlar armónicos en sistemas eléctricos de potencia. Los armónicos son resultado de la operación de cargas no lineales como los convertidores estáticos de potencia o incluso máquinas rotativas [1]. Es responsabilidad de cada utilidad (hospitales, industrias, etc.) tomar acción para reducir la distorsión del voltaje modificando su sistema según sea necesario.

Con respecto a la ventana de medición de los instrumentos digitales, esta debe ser de 12 ciclos para sistemas con frecuencia fundamental de 60 Hz, de tal manera que los componentes espectrales se capturen cada 5 Hz. Todas las mediciones deben acumularse por cada día, dentro de un periodo de tiempo de una semana. En la norma también se indican algunos límites como los siguientes: límites recomendados de armónicos según el nivel de voltaje, que se detallan en la Tabla 11; límites de distorsión armónica, que se muestran en la Tabla 12; y los límites de interarmónicos en base al flicker, que se muestran en la Tabla 13.

Tabla 11. Límites de distorsión armónica de voltaje

Voltaje de Barra en el PAC.	% Armónicos Individuales	Distorsión armónica total THD (%)
$V \leq 1.0 \text{ kV}$	5.0	8.0
$1 \text{ kV} < V \leq 69 \text{ kV}$	3.0	5.0
$69 < V \leq 161 \text{ kV}$	1.5	2.5
$161 \text{ kV} \leq V$	1.0	1.5

Fuente: [1]

Tabla 12. Límites de distorsión de corriente para sistemas entre 120 V y 69 kV

Distorsión armónica de corriente máxima (% I de línea)						
Orden individual de armónicos (armónicos impares)						
I_{sc}/I_L	$3 \leq h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h \leq 50$	TDD
$< 20^c$	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
$20 < 50$	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
$50 < 100$	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
$100 < 1000$	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
> 1000	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0

Fuente: [1]

Tabla 13. Límites de interarmónicos de voltaje para PAC menores a 1 kV

Frecuencia (Hz)	Magnitud (%)	Frecuencia (Hz)	Magnitud (%)
18	3.90	39	0.78
19	3.45	40	0.71
20	3.00	41	0.64
21	2.77	42	0.57
22	2.53	43	0.50
23	2.30	44	0.48
24	2.15	45	0.43
25	2.03	46	0.38
26	1.90	47	0.34
27	1.78	48	0.31
28	1.64	49	0.28
29	1.54	50	0.25
30	1.43	51	0.23
31	1.33	52	0.25
32	1.26	53	0.27
33	1.20	54	0.29
34	1.13	55	0.35
35	1.05	56	0.40
36	0.95	57	0.58
37	0.85	58	0.77
38	0.81	59	0.95

Fuente: [1]

1.4.8 NFPA 99

El ahora denominado “código para instalaciones del cuidado de la salud”, por su traducción al español, promueve su aplicación en muchas instalaciones hospitalarias, con el objetivo de evitar riesgos eléctricos ocasionados por los equipos de alta frecuencia de clínicas, oficinas dentales o en tratamientos médicos de hospitales. Las secciones de mayor relevancia, para este trabajo, del código NFPA 99, son los capítulos 4 y 8, y el Anexo D.

A continuación, se presentan los lineamientos principales de las secciones mencionadas.

1.4.8.1 Lineamientos principales del capítulo 4 de la NFPA

Con respecto a los circuitos que alimentan las camas de pacientes en hospitales, éstos no deben ser de distintos tableros de distribución, sino de uno solo. Si es necesario, se dispondrá de otro panel de emergencia, para que no falte la electricidad. Por otro lado, las áreas críticas deben ser alimentadas por un tablero que tenga al menos un circuito alimentado directamente por la red de distribución.

En lo referente a la puesta a tierra, deberá ser instalada sin afectar la continuidad de otros circuitos, y la resistencia de tierra debe estar en el rango adecuado, sin que su valor sobrepase los límites incluso luego de instalen otros equipos, o cuando los equipos viejos se reemplacen por unos nuevos. La confiabilidad de la puesta a tierra deberá ser al menos tan buena como la de un conductor de cobre que conduce electricidad en un bus de conexión a tierra de un tablero de distribución.

En las localizaciones húmedas, la protección debe ser especial y proporcionada por un sistema de distribución que limite la corriente de falla a menos de 6 mA, sin que se interrumpa el suministro. De los sistemas de emergencia, se recomienda que al menos energicen: la iluminación (tal como se indica en la norma NFPA 101) de los letreros de salida y direcciones; los sistemas de alerta y demás alarmas; las comunicaciones del hospital; las instalaciones del generador que abastece; los elevadores y las puertas automáticas de todas las salidas.

1.4.8.2 Lineamientos principales del capítulo 8 de la NFPA

Dentro del capítulo 8 se hace una distinción entre dos tipos de hospitales:

- Permanentemente conectados (hospitales fijos)
- Conectados a través de cargadores o cables (hospitales móviles)

Asimismo, mantiene que todos los cables conectados a equipos, que no estén doblemente aislados, deben ser provistos de un conector trifásico de tres patas con tierra. Además, se definen procedimientos para probar el aislamiento de los cables, y las corrientes de fuga de equipos con chasis y de equipos portátiles de laboratorios.

El capítulo 8.5.2.1.2 se menciona que las instalaciones deben evaluarse por un período de hasta 12 meses, para verificar si cumplen el criterio de operación segura del capítulo 10 del código. Finalmente, el capítulo 8 hace énfasis en archivar documentos y en la entrenar al personal que utiliza los equipos eléctricos.

1.4.8.3 Lineamientos principales del anexo D de la NFPA

En este apartado se tratan temas sobre equipos de alta frecuencia, es decir, aquellos cuya frecuencia eléctrica sea mayor o igual a 100 kHz. Estos equipos engloban:

electrocirugía, electrocoagulación y fulguración, cortado eléctrico, osciladores, generadores de radiofrecuencia como los neuroquirúrgicos, diatermia de radio frecuencia, radiación electromagnética, entre otros. A pesar de ser necesarios para el tratamiento de enfermedades su uso puede provocar:

1. Interferencia de radio frecuencia
2. Quemaduras de alta frecuencia.
3. Choque eléctrico de baja frecuencia
4. Explosiones y fuego
5. Complicaciones varias al usar los aparatos
6. Quemaduras por corriente directa.
7. Quemaduras por radiación no ionizante e ignición.

En las líneas finales de este anexo se plantean algunas soluciones para reducir los problemas previamente listados. Por ejemplo, las fuentes de bajo voltaje de los equipos de endoscopía deben tener transformadores propios con el secundario aislado para evitar el choque eléctrico. El anexo finaliza con la importancia del mantenimiento periódico de los equipos y de su protección asociada.

1.4.9 ARCONEL 005/18 [21]

La entidad reguladora del país denominada Agencia de Regulación y Control de Electricidad, o simplemente ARCONEL por sus siglas, realizó la última modificación del documento “Calidad del servicio eléctrico de distribución” creado por CONELEC, en el año 2018. La nueva regulación denominada: “Calidad del servicio y comercialización de energía eléctrica” establece los límites de calidad de energía, así como las directrices de medición y evaluación, tanto para empresas eléctricas como para los usuarios. La regulación toma en cuenta 4 grupos según los niveles de voltaje, mismos que se muestran en la Tabla 14:

Tabla 14. Agrupación según los niveles de voltaje

Bajo Voltaje	$V \leq 0.6 \text{ kV}$
Medio Voltaje	$0.6 < V \leq 40 \text{ kV}$
Alto Voltaje (GRUPO I)	$40 < V \leq 138 \text{ kV}$
Alto Voltaje (GRUPO II)	$V > 138 \text{ kV}$

Fuente: [21]

También indica que la calidad de las empresas distribuidoras está dividida en:

1. Calidad del producto, fuertemente relacionada al voltaje.
2. Calidad de servicio técnico, es decir, la frecuencia y duración de interrupciones.
3. Calidad de servicio comercial, es decir, la aptitud de los agentes comerciales para responder frente a reclamos, pedidos, y consultas por parte de los usuarios.

En la Tabla 15 se detallan los niveles permisibles de voltaje según el nivel para las distribuidoras:

Tabla 15. Rangos para el nivel de voltaje

Nivel de Voltaje	Rango admisible
Alto Voltaje	$\pm 5.0 \%$
Medio Voltaje	$\pm 6.0 \%$
Bajo Voltaje	$\pm 8.0 \%$

Fuente: [21]

En la Tabla 16, se indican los límites máximos permitidos para los armónicos individuales y el porcentaje de distorsión armónica total.

Tabla 16. Límites máximos de armónicos

Nivel de Voltaje	Armónicos Individuales (% del voltaje nominal)	THD (%)
Bajo Voltaje	5.0	8.0
Medio Voltaje	3.0	5.0
Alto Voltaje (GRUPO I)	1.5	2.5
Alto Voltaje (GRUPO II)	1.0	1.5

Fuente: [21]

Con respecto al desbalance de voltaje, este se determinará como la relación entre la componente de secuencia negativa y la componente de secuencia positiva. Cada componente es un promedio de las mediciones realizadas en un intervalo de tiempo de 10 minutos y su relación deberá ser menor a 2% sin importar el nivel de voltaje.

El índice del flicker de corta duración, que mide la severidad de las fluctuaciones de voltaje, se calcula con la ecuación (2).

$$P_{st} = \sqrt{0.0314P_{0.1} + 0.0525P_1 + 0.0657P_3 + 0.28P_{10} + 0.08P_{50}} \quad (2)$$

Siendo P_j los niveles de efecto flicker que superan, durante $j \%$ del tiempo total, el umbral permitido.

Si las mediciones indican que el 95% de los niveles de voltaje, índices de severidad del flicker, índices de desequilibrio, están dentro de los límites permitidos, entonces la empresa cumplirá con la norma.

1.4.10 IEC 555-2

Es un estándar obsoleto que ha sido reemplazado por las normas IEC 1000-3-2 y EN 61000-3-2 [22] aplicables a equipos con corriente nominal de hasta 16 A por fase y que son alimentados en líneas de bajo voltaje con los siguientes valores: 220/380 V y 240/415 V a 60 o 50 Hz. La norma IEC 61000-3-2 ya ha sido previamente explicada en la sección 1.5.2 de este trabajo.

1.5 Confiabilidad de los sistemas eléctricos.

Los seres humanos, dependemos del bienestar de las compañías automatizadas y del suministro eléctrico sin interrupciones [23]. Al menos en los centros hospitalarios, que tienen en sus manos la vida de muchos usuarios, el tema de la confiabilidad no puede ser dejado de lado. Sin embargo, la complejidad de los sistemas eléctricos, así como el aumento en los costos de operación debido a las fallas trae consigo problemas que deben ser solventados con los conceptos de confiabilidad, disponibilidad y seguridad [24]

La confiabilidad está relacionada con la probabilidad de que un elemento funcione o no, bajo ciertas condiciones dentro de un intervalo de tiempo. Pero no es una responsabilidad tan acentuada de los usuarios finales, sino de los sistemas de generación, transmisión y distribución. Los estudios eléctricos demuestran esta afirmación y concluyen que más del 80 % de la confiabilidad está determinada por el sistema de distribución [25] [26]. Para poder evaluarla, se explican los índices más usados a continuación.

1.5.1 Índices de confiabilidad

1.5.1.1 SAIFI

Este índice indica cuan frecuentemente un usuario promedio experimenta una interrupción sostenida durante un periodo de tiempo que generalmente suele ser un año. Para calcularlo se usa la ecuación 3, obtenida de [25] [26]:

$$SAIFI = \frac{\sum_i N_i}{N_T} \quad (3)$$

Donde:

N_i : número de clientes con interrupciones por cada incidente i .

N_T : número total de clientes en el sistema para el cual se calcula el índice.

El índice SAIFI o índice de frecuencia de fallas promedio del sistema, por su traducción al español, también puede medirse con el tiempo medio entre falla, MTBF, que es el recíproco de la tasa de fallos λ .

1.5.1.2 SAIDI

El índice de duración promedio de interrupciones del sistema indica la duración de una falla para el cliente promedio durante un periodo de tiempo predefinido. Típicamente es medido en usuarios-minuto o usuarios-hora de interrupción y se calcula con la ecuación 4, obtenida de [25] [26]:

$$SAIDI = \frac{\sum_i N_i \cdot r_i}{N_T} \quad (4)$$

Donde:

r_i : tiempo de restauración de cada falla i .

N_i : número de usuarios con interrupciones por cada incidente i .

N_T : número total de usuarios en el sistema para el cual se calcula el índice.

1.5.1.3 CAIDI

CAIDI por sus siglas del inglés, Customer Average Interruption Duration Index, es el tiempo promedio que se necesita para restaurar el servicio. Se expresa en unidad de tiempo por falla, generalmente en minutos, y se calcula con la ecuación 5, obtenida de [25] [26]:

$$CAIDI = \frac{\sum_i N_i \cdot r_i}{\sum_i N_i} = \frac{SAIDI}{SAIFI} \quad (5)$$

Donde:

r_i : tiempo de restauración de cada falla i .

N_i : número de usuarios con interrupciones por cada incidente i .

1.5.1.4 CTAIDI

Este índice, representa el tiempo total promedio que los usuarios con fallas estuvieron sin energía. Es similar al CAIDI, y se calcula con la ecuación 6, obtenida de [25] [26]:

$$CTAIDI = \frac{\sum_i N_i \cdot r_i}{N_c} \quad (6)$$

Donde:

r_i : tiempo de restauración de cada falla i .

N_i : número de usuarios con interrupciones por cada incidente i .

N_c : el número total de usuarios que han experimentado al menos una falla durante el periodo de evaluación.

1.5.1.5 CAIFI

CAIFI o Customer Average Interruption Frequency Index, brinda una frecuencia promedio de fallas de los usuarios que las han experimentado. El cliente solo se cuenta una vez, sin importar el número de fallas que sufrido. Al igual que el SAIFI, se expresa en interrupciones por año, y se calcula con la ecuación 7, obtenida de [25] [26].

$$CAIFI = \frac{\sum_i N_i}{N_c} \quad (7)$$

Donde:

N_i : número de usuarios con interrupciones por cada incidente i .

N_c : el número total de usuarios que han experimentado al menos una falla durante el periodo de evaluación.

1.5.1.6 ASAI

Del inglés, Average Service Availability Index, o en español, índice de disponibilidad de servicio promedio, es una fracción del tiempo que un consumidor ha recibido energía dentro del periodo de evaluación. Este índice se evalúa con la ecuación 8, obtenida de [25].

$$ASAI = 1 - \frac{\sum_i N_i \cdot r_i}{N_T \cdot T} \quad (8)$$

Donde:

r_i : tiempo de restauración de cada falla i .

N_i : número de usuarios con interrupciones por cada incidente i .

T : intervalo de tiempo; 8760 horas en el lapso de un año.

N_T : número total de usuarios en el sistema para el cual se calcula el índice.

1.5.1.7 *ENS*

El índice de energía no suministrada es la suma total de energía que hubiera sido suministrada a los usuarios con falla si es que no hubieran existido fallas. Comúnmente se expresa en Mega Watts por hora, y se calcula con la ecuación 9, obtenida de [25].

$$ENS = \sum_i P_i \cdot r_i = \sum_i E_i \quad (9)$$

Donde:

r_i : tiempo de restauración de cada falla i .

P_i : carga interrumpida durante cada falla i .

E_i : energía no suministrada por causa de la falla i .

1.5.1.8 *AENS*

El índice de promedio de energía no suministrada, AENS, indica cuanta energía en promedio no fue suministrada a los clientes durante cierto periodo de tiempo. El cálculo se realiza con la ecuación 10, obtenida de [25]:

$$AENS = \frac{\sum_i P_i \cdot r_i}{\sum_i N_i} = \frac{ENS}{\sum_i N_i} \quad (10)$$

Donde:

ENS : Energía no suministrada

N_i : número de clientes con interrupciones por cada incidente i .

1.5.1.9 *ACCI*

Del inglés Average Customer Curtailment Index, es un índice de confiabilidad que indica cuanta energía en promedio no fue suministrada a los clientes con fallas durante un periodo de tiempo. Se evalúa con la ecuación 11, obtenida de [25].

$$ACCI = \frac{\sum_i P_i \cdot r_i}{N_i} = \frac{ENS}{N_i} \quad (11)$$

Donde:

ENS : Energía no suministrada

N_i : número de clientes con interrupciones por cada incidente i .

1.5.1.10 ASIFI

El índice de frecuencia de interrupciones promedio del sistema se basa en la carga y no en los usuarios afectados. Se usa para medir el rendimiento en áreas de distribución de pocos beneficiarios con grandes concentraciones de carga. Si la distribución de carga fuera homogénea, SAIFI sería lo mismo que ASIFI. El índice ASIFI, acrónimo de Average System Interruption Frequency Index, se obtiene con la ecuación 12, obtenida de [25]:

$$ASIFI = \frac{\sum_i P_i}{P_T} \quad (12)$$

Donde:

P_i : carga interrumpida durante cada falla i .

P_T : potencia total contratada por el sistema.

1.5.1.11 ASIDI

El índice de duración promedio de las interrupciones de un sistema también se basa en la carga, y se expresa en minutos por año. Puede calcularse en base a la energía no suministrada. La ecuación 13 de cálculo del ASIDI, se ha obtenido de [25] y se muestra a continuación:

$$ASIDI = \frac{60 \cdot \sum_i P_i \cdot r_i}{P_T} = \frac{60 \cdot ENS}{P_T} \quad (13)$$

Donde:

ENS : Energía no suministrada

P_T : potencia total contratada por el sistema.

1.5.2 Curva de Bañera

La curva de bañera es una representación asociada con los componentes eléctricos [27], que representa el número de fallas producidas durante su periodo de vida. En la Figura 4, se puede ver la curva de bañera y su división en tres etapas: etapa inicial o de mortalidad infantil; etapa de vida útil plena, o de fallas aleatorias; y la etapa de envejecimiento.

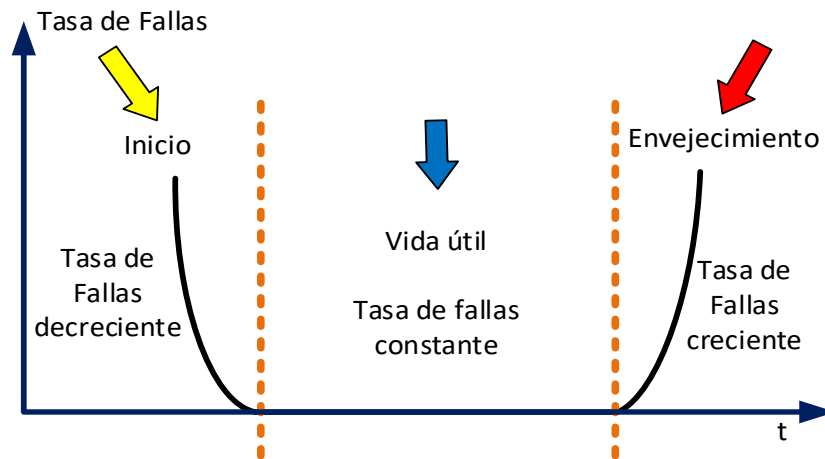


Figura 4. Curva de bañera.
Fuente: [28]

La curva de bañera ocupa un lugar muy importante en las prácticas de confiabilidad ya que justifican las estrategias iniciales para intentar mejorarla [29]. En la etapa inicial aparecen los errores de diseño, defectos al momento de fabricar los equipos, o al momento de instalarlos. La tasa de fallas es elevada pero conforme se van corrigiendo los errores encontrados disminuye. La corrección de esta zona se suele llamar quemado inicial [29].

La segunda etapa está sujeta a las fallas provocadas por causas externas que afectan al sistema eléctrico. Este tipo de falla es casi siempre independiente del envejecimiento de los componentes eléctricos que conforman el equipo o sistema bajo estudio, por eso la probabilidad de falla se considera constante [27]. Por último, la etapa de envejecimiento es provocada por la reducción del aislamiento o de la fuerza mecánica, y debido a eso la tasa de fallas aumenta.

Aunque esta curva es útil para entender como el número de fallas se reduce o incrementa, presenta limitaciones, que se estudian en [29]. Sin embargo, el estudio de estas limitaciones sale del alcance de este proyecto. También es de importancia que se expliquen los principios fundamentales del método de zonas y ramas que dará paso al estudio de confiabilidad del área de medicina nuclear y el Bloque Central del HCAM.

1.5.3 Método de zonas y ramas

Para aplicar este método es necesario que se definan las zonas de operación de cada equipo de protección, tal como relevadores, interruptores, reconectadores, seccionadores y otros equipos de acción automática o manual. En ese sentido la zona de operación del equipo de protección se conoce como zona de protección, y es una zona que se aísla del sistema eléctrico cuando ocurre una falla. Además, cada zona tiene ramas adyacentes. Para la determinación de las ramas se consideran las siguientes asunciones:

- Todas las fallas son permanentes.
- El equipo de protección es de acción instantánea y aísla todas las fallas permanentes cuando actúa.
- La coordinación de protecciones es tal que permite que el equipo de protección más cercano a la falla opere primero.

Una vez que se definen las zonas y las ramas, del sistema bajo estudio, se calculan las tasas de fallo y los tiempos de no servicio de cada conjunto zona-rama a través de las ecuaciones (14) y (15) obtenidas de [30]:

$$\lambda_T(i, j) = \lambda_s + \sum RIA(z, k) \times FZB(k)^T \text{ fallas/año} \quad (14)$$

$$\lambda_r(i, j) = \lambda_s \times rs + \sum RIA(z, k) \times FZB(k)^T \times R(z, k) \text{ horas/año} \quad (15)$$

Donde:

$\lambda_T(i, j)$: es la tasa de fallo total.

λ_s : es la tasa de fallo de la fuente de suministro

$RIA(z, k)$: son los coeficientes de reconocimiento y aislamiento de falla.

$FZB(k)^T$: es el vector de ramas de zona con falla, que contiene la tasa de fallo de cada rama de zona k .

$\lambda_r(i, j)$: el tiempo de falla anual.

En [30] también se detallan algunos casos de aplicación del método de zonas y ramas. Sin embargo, no está de más dar un breve ejemplo de la selección de las zonas y ramas con el método propuesto para el sistema de la Figura 5.

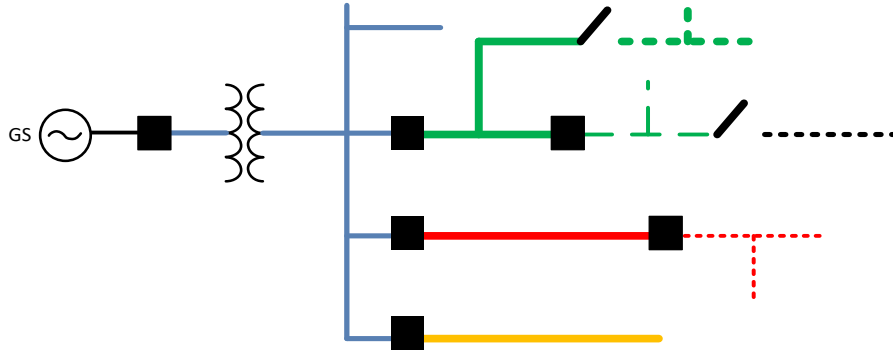


Figura 5. Sistema industrial asociado a zonas y ramas
Fuente: [30]

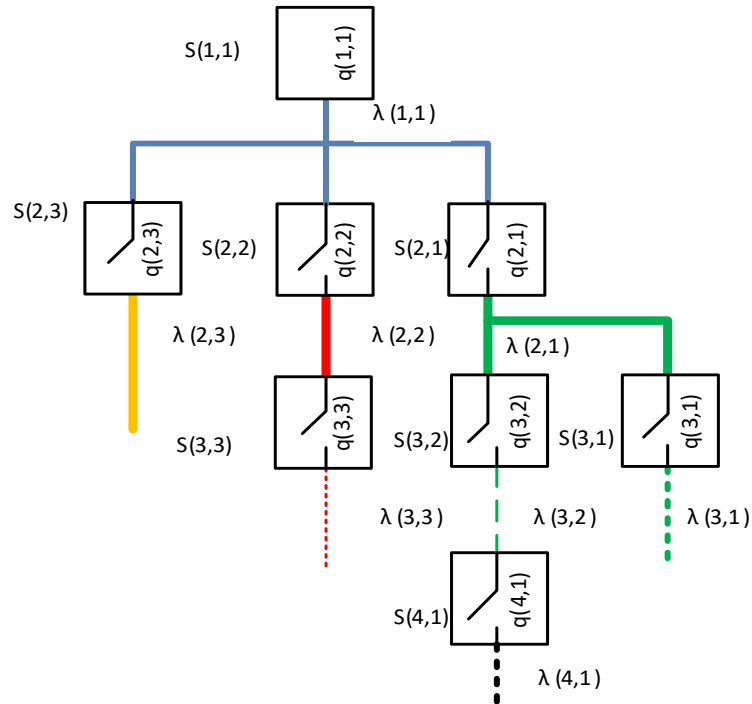


Figura 6. Diagrama lineal de zonas y ramas, obtenido de la Figura 3.
Fuente: [30]

El diagrama de las zonas y ramas resultante se indica en la Figura 6. En donde se observa que existen 4 zonas de protección detalladas por $\lambda(i,j)$, siendo i , la zona y j , la rama. Además, cada rama de cada zona está asociada a un equipo de protección denotado por $S(i,j)$ que puede ser de operación automática o manual, como se mencionó previamente. Según esta operación cada dispositivo tendrá una probabilidad $q(i,j)$ de que no reconozca ni aísle la falla de los equipos dentro de su zona. Una vez determinado este diagrama de zonas y ramas, se realizan los cálculos de confiabilidad.

CAPÍTULO II

HOSPITAL DEL IEES CARLOS ANDRADE MARÍN (HCAM)

2.1 Generalidades del Hospital Carlos Andrade Marín

El hospital Carlos Andrade Marín, HCAM, por sus siglas, es uno de los más representativos del Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social, IEES, y por tanto uno de los más distintivos del país [31]. En sus instalaciones se atienden diversas patologías complejas que utilizan equipos de alta tecnología como ciclotrones, equipos de RX de diagnóstico, entre otros, que facilitan el cumplimiento de las tareas en una de las ramas que ha tenido mayor crecimiento en la medicina: la medicina nuclear. El HCAM además, posee uno de los 3 laboratorios de dosimetría personal, y cuenta con 310 usuarios [32] en esa rama. El número de clientes tomando en cuenta las otras ramas de atención al cliente asciende a 20 000 mensualmente [33].

2.1.1 Ubicación del Hospital

El HCAM reside en la ciudad de Quito, provincia de Pichincha, Ecuador. Se encuentra limitado por la Av. 18 de septiembre al norte, la calle Portoviejo al sur, la Av. Universitaria al occidente, y la calle Ayacucho al oriente. El croquis del HCAM puede verse en la Figura 7.

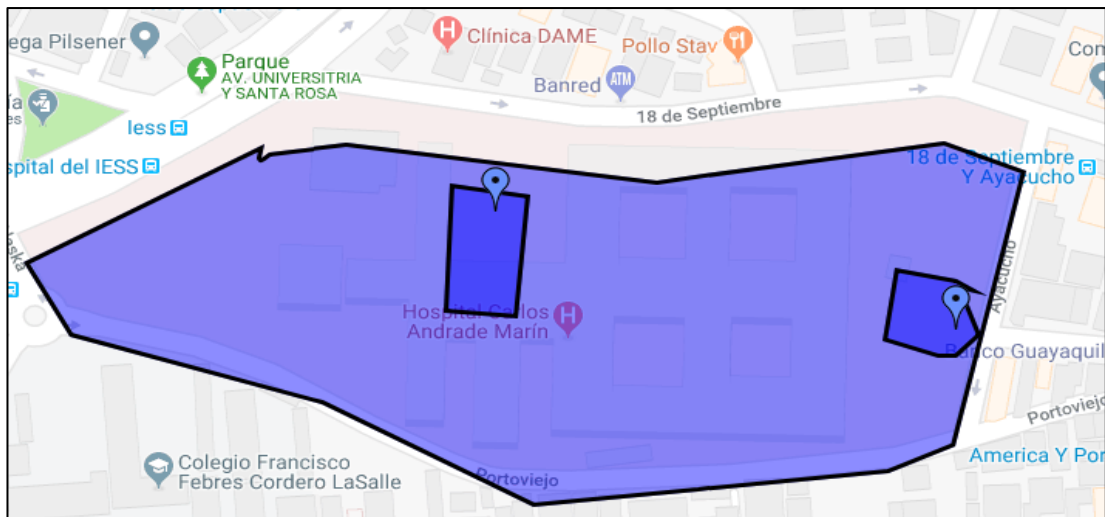


Figura 7. Ubicación del HCAM.

Fuente: Google Maps

Este hospital emblemático está conformado por 5 niveles, cada uno de los cuales cumple una función específica. En la Tabla 17, se detallan las áreas del subsuelo del hospital, que tiene una profundidad de 3,45 metros bajo tierra.

Tabla 17. Detalle de las áreas del subsuelo del HCAM

Planta de Subsuelo 1	
(Nivel -3.45 m)	<ul style="list-style-type: none"> • Parquaderos • Gamma Knife • Endocrinología • Consulta Externa y sala de Espera • Archivo Clínico • Farmacia, Anatomía Patológica • Bodegas • Morgue • Sala de Calderos • Área de Planchado • Vestidores.

Elaborado por: Guillermo Alejandro Rodríguez Morocho

En la Tabla 18, se detallan las áreas de la planta baja del HCAM, en donde se puede observar el área de Medicina Nuclear que será objeto del análisis de calidad.

Tabla 18. Detalle de las áreas de la planta baja del HCAM

Planta Baja	
(Nivel 0,0 m)	<ul style="list-style-type: none"> • Área Administrativa • Centro Urológico • Cirugía general y plástica • Cocina y comedor • Consulta externa • Dermatología • Gastroenterología • Ginecología • Hematología • Imagenología • Litotricia • Medicina Nuclear, • Neumología Cardiorácica. • Odontología • Oftalmología • Otorrinolaringología • Pediatría • Rehabilitación • Reumatología • Traumatología • Unidad de Patología Clínica

Elaborado por: Guillermo Alejandro Rodríguez Morocho

La planta 1 es la que menos áreas tiene. Esto se puede notar en la Tabla 19. La altura de este piso es de 3,8 m. De igual manera, en la Tabla 20, se indican las áreas de la planta 2; en la Tabla 21, las áreas de la planta 3; en la Tabla 22, las áreas correspondientes a la planta 4; en la Tabla 23 se exhiben los espacios de la planta 5; y finalmente en la Tabla 24, se listan las áreas del piso 6.

Tabla 19. Detalle de las áreas del piso 1 (planta alta 1) del HCAM

Planta Alta 1	
(Nivel +3,80 m)	<ul style="list-style-type: none"> • Observación Área Crítica • Hospitalización Pediatría • Hospitalización Traumatología y Ortopedia, • Área Infecciosa • Banco de Sangre
Elaborado por: Guillermo Alejandro Rodríguez Morocho	

Tabla 20. Detalle de las áreas del piso 2 (planta alta 2) del HCAM

Planta Alta 2	
(Nivel +7.60 m)	<ul style="list-style-type: none"> • Hospitalización Cardiología • Gastroenterología • Hospitalización Ginecología • Centro de Esterilización • Centro Gineco-Obstétrico • Centro Quirúrgico Norte • Hospitalización Obstetricia Sur y Norte.
Elaborado por: Guillermo Alejandro Rodríguez Morocho	

Tabla 21. Detalle de las áreas del piso 3 (planta alta 3) del HCAM

Planta Alta 3	
(Nivel +11.20 m)	<ul style="list-style-type: none"> • Farmacia Satélite 1 • Procedimientos Hospital del Día • Medicina Interna e Infectología • Hospitalización Hematología • Hospitalización Médula Ósea • Hospitalización Endocrinología • Hospitalización Urología • Nefrología • Cirugía General Sur y Norte.
Elaborado por: Guillermo Alejandro Rodríguez Morocho	

Tabla 22. Detalle de las áreas del piso 4 (planta alta 4) del HCAM

Planta Alta 4	
(Niv. +14.50 m)	<ul style="list-style-type: none"> • Sala de sesiones Médicas • Hospitalización Gastroenterología y Otorrinolaringología • Hospitalización oftalmología y cirugía vascular • UCI Norte • UCI Sur • Hospitalización Cardiorácica • Hospitalización Neurocirugía.
Elaborado por: Guillermo Alejandro Rodríguez Morocho	

Tabla 23. Detalle de las áreas del piso 5 (planta alta 5) del HCAM.

Planta Alta 5	
(Niv. +17.95) m	<ul style="list-style-type: none">• Hospitalización Neurología• Coordinación General• Unidad de Compras Públicas• Sala- Auditorio• Construcciones• Sala de Diálisis.

Elaborado por: Guillermo Alejandro Rodríguez Morocho

Tabla 24. Detalle de las áreas del piso 6 (planta alta 6) del HCAM

Planta Alta 6	
(Niv. +21.10 m)	<ul style="list-style-type: none">• Coordinación de Evaluación y Desempeño• Talento Humano• Contabilidad y Presupuesto• Tesorería• Coordinación Financiera• Auditoría Médica• Subsidios• Planificación y archivo.

Elaborado por: Guillermo Alejandro Rodríguez Morocho

2.2 Situación actual

2.2.1 Medicina Nuclear

En base a los estudios realizados se ha determinado que el punto crítico que deberá tratarse para la mejora de la calidad de la energía del HCAM es el área de medicina nuclear, En especial la zona en donde opera al Acelerador Compact. Como principales observaciones con respecto al mal funcionamiento del sistema eléctrico se tienen las siguientes:

- Existen apagones frecuentes debido a las variaciones de voltaje.
- Existe pérdida de información en los archivos del sistema, provocadas por los apagones repentinos.
- El transformador del acelerador lineal es de funcionamiento intermitente. Es decir, opera al mismo tiempo que opera el acelerador lineal. Lo puede afectar a la calidad de energía del hospital.

Para analizar estas conjeturas se propone utilizar un instrumento de medición digital, que será fundamental para efectuar el análisis del suministro de energía del HCAM, y proponer mejoras que permitan solventar los inconvenientes mencionados.

2.2.1.1 Diagrama unifilar del área de medicina nuclear.

En base al levantamiento de carga del área de Medicina Nuclear se crea el diagrama unifilar de la Figura 8, en donde pueden observar las zonas del Acelerador Lineal, Ciclotrón, Braquiterapia, Servicios Generales del Ciclotrón, y Bunker. Este diagrama permitirá correr flujos de potencia en el software PowerFactory 15.1 de DIGSILENT.

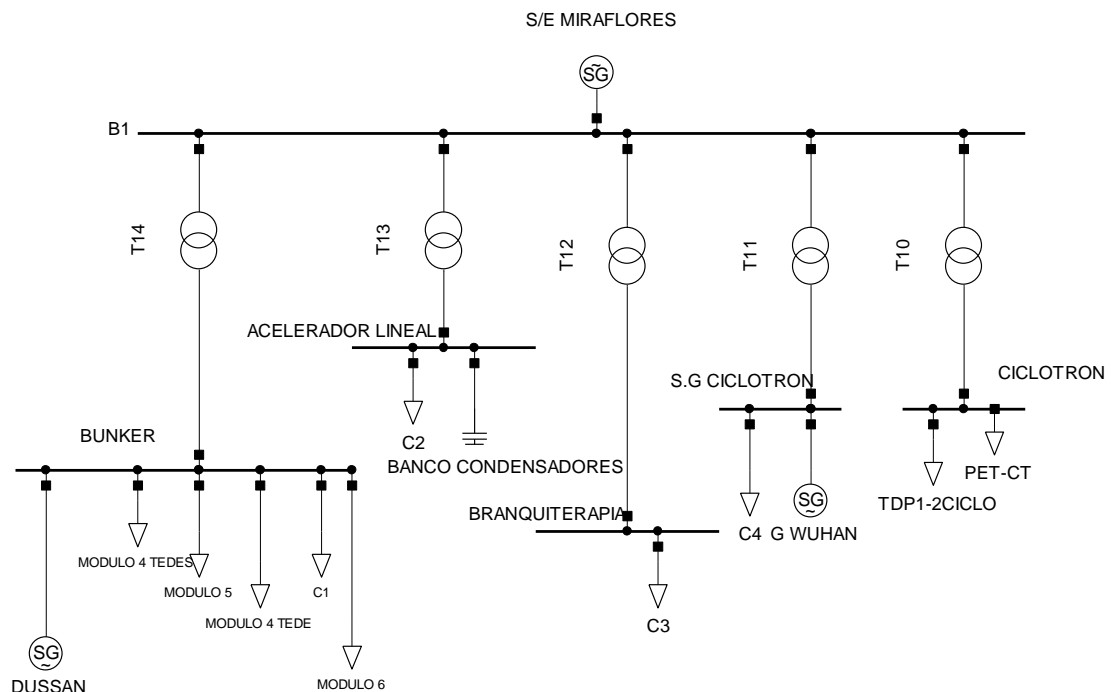


Figura 8. Diagrama unifilar del área de medicina nuclear
Elaborado por: Guillermo Alejandro Rodríguez Morocho

2.2.1.2 Pararrayos

En el área de Medicina Nuclear, la presencia de equipo sensible hace pensar que sería necesario instalar un pararrayos. Sin embargo, para saber si técnicamente es necesaria o no la protección contra rayos se debe conocer los parámetros N_d y N_c , correspondientes a la frecuencia de caída de rayos en la instalación, y al riesgo admisible respectivamente. Si N_d es mayor a N_c , entonces será necesaria la instalación de pararrayos.

Para el cálculo de N_d , se utiliza la ecuación 16, obtenida de [34]:

$$N_d = N_g \cdot 1,1 \cdot A_e \cdot C_1 \cdot 10^{-8} \quad (16)$$

Donde,

- N_d : frecuencia de caída de rayos
- N_g : impactos por área.
- A_e : superficie resultante de captura
- C_1 : coeficiente que depende del entorno.

En el bloque de Medicina Nuclear se han determinado los siguientes valores:

- $N_g = 5$ impactos/año
- $A_e = 5046.61 \text{ m}^2$; basado en las medidas del edificio. (Altura=4, Longitud=36 m, Ancho=24 m)
- $C_1 = 0.5$, ya que hay otras estructuras o árboles de la misma altura o más altos.

En el cálculo, $N_d = 0.0139$ impactos por año.

Luego se debe calcular el riesgo admisible con la ecuación 17, según [34]:

$$N_c = \frac{3}{C_2 \cdot 1,1 \cdot A_e \cdot C_1} \cdot 10^{-3} \quad (17)$$

Donde:

$C_2 = 1$, para estructuras comunes con cubierta de hormigón

$C_3 = 0.5$, para estructuras con bajo riesgo de flameo

$C_4 = 3$, para estructuras ocupadas normalmente

$C_5 = 1$, para estructuras sin consecuencias sobre el entorno

Por lo tanto, $N_c = 2 \cdot 10^{-3}$. Esto indica que la protección contra rayos es necesaria.

2.2.2 Cámaras de transformadores del HCAM

Se ha decidido realizar un estudio de carga de las cámaras de transformación del hospital con el fin de que la mejora del sea integral, y no solo del área de Medicina Nuclear. Si bien es cierto, el análisis de calidad es necesario en esas inmediaciones debido a la gran cantidad de cargas no lineales, otras áreas pueden estar descuidadas. Por ello se analiza la carga de los transformadores del HCAM.

Una vez realizado el estudio, se determina que existen 6 transformadores muy antiguos. Estos se detallan en la Tabla 25. Además, el transformador de 630 kVA contiene PCB'S, lo que dificulta los trabajos de inspección y mantenimiento. El resumen de

todas las cámaras de transformación se muestra en la Tabla 26. Con respecto a esta agrupación, en el Capítulo IV, se proponen posibles acciones a tomar por parte del HCAM, para mejorar el sistema eléctrico.

Tabla 25. Cámaras actuales de transformación

Cámara	Transformador	Potencia	Año
Cámara de Misceláneos	TP-05	500	1991
Cámara 630 kVA	TP-02	630	1978
Cámara 1.3 MVA	TP-17	650	1967
Cámara 1.3 MVA	TP-18	650	1967
Cámara de Misceláneos	TP-11	45	1994
Cámara de Misceláneos	TP-16	250	1968

Elaborado por: Guillermo Alejandro Rodríguez Morocho

Tabla 26. Cámaras actuales de transformación

Cámara de transformación								
Centro de transformadores	Ubicación	Transformador	Tipo de carga	Bloque	Potencia Ins. (kVA)	Voltaje Primario	Voltaje Secundario	Potencia Max. (kVA)
Cámara 1.05 MVA	18 de septiembre y universitaria	TP-06	Servicios gen. 1	M. Nuclear	375	6000	380	4
		TP-07	Ciclotrón	M. Nuclear	125	6000	210	18.98
		TP-08	Braquiterapia	M. Nuclear	250	6000	400/231	3.53
		TP-09	Acelerador lineal	M. Nuclear	100	6000	400	12.16
		TP-10	Servicios gen. 2	M. Nuclear	200	6000	220	40.83
Cámara 450 kVA	Portoviejo	TP-01	Ups	Bloque 3	450	6000	220/217	145.26
Cámara 100 kVA	Portoviejo	TP-03	Angiografía	Bloque 3	100	6000	400	8.41
Cámara 75 kVA	Portoviejo	TP-04	Flexavisión	Bloque 3	75	6000	400	11.5
Cámara 630 kVA	Portoviejo	TP-02	Servicios gen. 3	Bloque 3	630	6000	220/127	92.6
Cámara 1.3 MVA	Bloque Central	TP-17	Cargas varias 1	Bloque 2	650	6000	215/124	600.25
		TP-18	Cargas varias 2	Bloque 2	650	6000	215/124	115.35
	Av. 18 de septiembre	TP-05	Tomógrafo, angiografía,	Bloque 1	500	6000	380/219	33.61
		TP-11	Tomógrafo emergencia	Bloque 1	45	6000	380/219	0
	Av. 18 de Septiembre	TP-15	Rayos x	Bloque 1	200	6000	380	22.95
	Av. 18 de Septiembre	TP-16	Mamógrafo	Bloque 2	250	6000	400/231	1.65
	Av. 18 de septiembre	TP-12	Resonancia magnética	Bloque 1	75	6000	380/219	21.57
	Av. 18 de septiembre	TP-13	Tomógrafo	Bloque 1	75	6000	400/231	25.89
	Av. 18 de septiembre	TP-14	Mamógrafo	Bloque 1	150	6000	400/231	10.25
	Total				4750			1168.54

Elaborado por: Guillermo Alejandro Rodríguez Morocho

2.2.3 UPS del HCAM

El Hospital de Especialidades Carlos Andrade Marín, de tercer nivel, cuenta con varias unidades de energía ininterrumpida (UPS) que han sido planificadas y distribuidas en las instalaciones del Hospital. Los UPS a su vez cuentan respaldo de generación para su correcto funcionamiento, permitiendo solventar las afectaciones en el suministro de energía eléctrica. El uso de UPS está destinado a las áreas críticas, como UCI, quirófanos, neonatología entre otras, donde son indispensables para precautelar la integridad de los pacientes, que por ninguna circunstancia pueden prescindir del equipamiento médico de control y monitoreo de estados vitales.

Se ha realizado un levantamiento de la información de hospital con respecto a estos dispositivos de abastecimiento de energía ininterrumpida. Cabe mencionar, que el protocolo eléctrico de funcionamiento de las unidades de energía ininterrumpida es siempre mantener con energía regulada a los equipos críticos tras un corte del suministro eléctrico. Por ello el hospital tiene como respaldo instantáneo al generador Volvo de 450 kVA, que suministra energía a los UPS, y el respaldo de energía por baterías entraría en funcionamiento si este generador no lograra cumplir su función de respaldo.

Los UPS de cada bloque del hospital y sus especificaciones técnicas se muestran desde la Tabla 27 hasta la Tabla 34. Los problemas encontrados junto con las fotografías tomadas se indicarán en el capítulo de mejoras, en la sección 4.4, y servirán como complemento del estudio realizado.

Tabla 27. UPS del Bloque 1 del HCAM ubicados en el subsuelo

Bloque	Bloque 1
Ubicación	Subsuelo
Área a la que sirve	Bloque 1
Tablero al que alimenta	TDU2 PBA/RDU2 PBB/TDU2 PLA/TDS1 14A/TDU2 P2/TDU2 P3A/TDU2 p4/TDU CC
Alimentación del UPS	Tablero transferencia automática t6 (volvo).
Potencia instalada (kVA)	160
Capacidad extra- banco de baterías	3600
Amp-h	
Voltaje entrada	218
Voltaje salida	220/127
Potencia en funcionamiento (kVA)	18.22
Factor de demanda (%)	11.39%
Potencia disponible (kVA)	141.78

Elaborado por: Guillermo Alejandro Rodríguez Morocho

Tabla 28. UPS del Bloque 2 del HCAM ubicados en el subsuelo

Bloque Ubicación	Bloque 2 Subsuelo	Bloque 2 Subsuelo
Área a la que sirve	Bloque 1	Neonatología
Tablero al que alimenta	TDU1 P4/TDU1 P3/TDU1 P2/TDU1 PLA/TDU1 PBC/TDU1 PBB/TDU1 PBA/TDU1 S1A/ TDSS-44	TDS2-7A/7B/8/10/11/12
Alimentación del UPS	Tablero transferencia automática t6 (volvo).	Tablero transferencia automática generador Deutz 38 kW; barras T1, Bloque Central Subsuelo.
Potencia instalada (kVA)	120	30
Capacidad extra- banco de baterías Amp-h	3200	880
Numero de fases	3	3
Voltaje entrada	218	218
Voltaje salida	220/127	220/127
Potencia en funcionamiento (kVA)	13.42	11.3
Factor de demanda (%)	11.18%	37.67%
Potencia disponible (kVA)	106.58	18.70

Elaborado por: Guillermo Alejandro Rodríguez Morocho

Tabla 29. UPS del Bloque 2 del HCAM ubicados en el piso 1

Bloque Ubicación	Bloque 2 Piso 1	Bloque 2 Piso 1
Área a la que sirve	Data Center	Data Center
Tablero al que alimenta	Rack servidor	Rack 3
Alimentación del UPS	Tablero transferencia automática T6 (volvo).	Tablero transferencia automática T6 (volvo).
Potencia instalada (kVA)	10	8
Capacidad extra- banco de baterías Amp-h	NA	NA
Numero de fases	2	2
Voltaje entrada	216	216
Voltaje salida	220/127	220/127
Potencia en funcionamiento (kVA)	1.8	1.4
Factor de demanda (%)	18.00%	17.50%
Potencia disponible (kVA)	8.20	6.60

Elaborado por: Guillermo Alejandro Rodríguez Morocho

Tabla 30. UPS del Bloque 2 del HCAM ubicados en el piso 4

Bloque	BLOQUE 2	BLOQUE 2
Ubicación	PISO CUATRO	PISO CUATRO
Área a la que sirve	UCI SUR	UCI SUR
Tablero al que alimenta	STU4-1	STU4-2
Alimentación del UPS	TPE4-1A	TPE4-1B
Potencia instalada (kVA)	30	30
Capacidad extra- banco de baterías	NA	NA
Amp-h		
Numero de fases	3	3
Voltaje entrada	221	221
Voltaje salida	220/127	220/127
Potencia en funcionamiento (kVA)	6.3	5.8
Factor de demanda (%)	21.00%	19.33%
Potencia disponible (kVA)	23.70	24.20

Elaborado por: Guillermo Alejandro Rodríguez Morocho

Tabla 31. UPS del Bloque 2 del HCAM ubicados en el piso 5

Bloque	Bloque 2	Bloque 2
Ubicación	Piso 5	Piso 5
Área a la que sirve	UCI Norte	UCI Norte
Tablero al que alimenta	STU4-3	STU4-3A
Alimentación del UPS	Tablero, quirófanos, Subsuelo Bloque 2, TPE-N	Tablero, quirófanos, Subsuelo Bloque 2, STU-2
Potencia instalada (kVA)	30	30
Numero de fases	3	3
Voltaje entrada	221	221
Voltaje salida	220/127	220/127
Potencia en funcionamiento (kVA)	6.14	6.2
Factor de demanda (%)	20.47%	20.67%
Potencia disponible (kVA)	23.86	23.80

Elaborado por: Guillermo Alejandro Rodríguez Morocho

Tabla 32. UPS del Bloque 3 del HCAM ubicado en la planta baja

Bloque	Bloque 3
Ubicación	Planta baja
Área a la que sirve	TDU Bloque 3
Tablero al que alimenta	TDU3 P6A/TDU3 PT/TDU3 P4/TDU3 P3/TDU3 P2/TDU3 P1A/TDU3 PB/TDSPB-45A/TDU3 P7/TDS2 6C
Alimentación del UPS	Tablero T6 (Volvo).
Potencia instalada (kVA)	100
Capacidad extra- banco de baterías Amp-h	4000
Numero de fases	3
Voltaje entrada	232
Voltaje salida	220/127
Potencia en funcionamiento (kVA)	15.8
Factor de demanda (%)	15.80%
Potencia disponible (kVA)	84.20

Elaborado por: Guillermo Alejandro Rodríguez Morocho

Tabla 33. UPS del Bloque 2 del HCAM ubicados en el piso 2

Bloque		Bloque 2				
Ubicación		Piso 2				
Área a la que sirve		Recuperación Norte				Obstetricia Sur
Tablero al que alimenta	TDQ2-1 - quirófano 9	TDQ2-4 - quirófano 8	Tdq2-7 - quirófano 7	Red-UPS4 toma 220v- Quirofono 3	STU1-REC; TD2-11A- recuperacion TDQ2-5A- quirófano	TDQ2-21
Alimentación del UPS	Tablero UPS 100 kVA, barras directo TDBU-2, subsuelo bloque 2	Tablero UPS 100 kVA, barras directo TDBU-2, subsuelo bloque 2	Tablero UPS 100 kVA, barras directo TDBU-2, subsuelo bloque 2	Tablero UPS 100 kVA, barras directo TDBU-2, subsuelo bloque 2	Tablero UPS 100 kVA, barras directo TDBU-2, subsuelo bloque 2	Tablero UPS 100 kVA, TDBU-2, subsuelo bloque 2
Potencia instalada (kVA)	12	12	12	12	80	80
Capacidad extra- banco de baterías Amp-h	NA	NA	NA	NA	2400	2400
Numero de fases	3	3	3	3	3	3
Voltaje entrada	219	219	219	219	219	221
Voltaje salida	220/127	220/127	220/127	220/127	220/127	220/127
Potencia en funcionamiento (kVA)	8.3	4.6	7.2	0	12.4	32.8
Factor de demanda (%)	69.17%	38.33%	60.00%	0.00%	15.50%	41.00%
Potencia disponible (kVA)	3.70	7.40	4.80	12.00	67.60	47.20

Elaborado por: Guillermo Alejandro Rodríguez Morocho

Tabla 34. UPS del Bloque de Medicina Nuclear ubicados en la planta baja

Bloque	Bloque Med. Nuclear	Bloque Med. Nuclear
Ubicación	Planta baja	Planta baja
Área a la que sirve	Pet Ciclotrón	Ninguna
Tablero al que alimenta	Tablero Pet- Ciclotrón	Ninguno
Alimentación del UPS	Tablero PET-CT	Tablero TDS1-R3a; C (14,16)
Potencia instalada (kVA)	14.4	6
Numero de fases	2	2
Voltaje entrada	220	220
Voltaje salida	220/127	220/127
Potencia en funcionamiento (kVA)	9.72	0
Factor de demanda (%)	67.50%	0.00%
Potencia disponible (kVA)	4.68	100.00

Elaborado por: Guillermo Alejandro Rodríguez Morocho

CAPITULO III

ANÁLISIS DE LA CALIDAD DE ENERGÍA EN EL HOSPITAL CARLOS ANDRADE MARÍN

3.1 Instrumento de medición de la calidad de energía

Existen un sin número de instrumentos que facilitan la medición de la calidad de energía eléctrica, cada uno con sus ventajas y desventajas, al menos de carácter económico. Uno de los más eficientes es el Analizador 435-II fabricado por Fluke, que permite realizar mediciones rápidas y obtener la información importante reduciendo tiempos de inactividad [35]. En la Tabla 35 se detallan las características del analizador mencionado, que será de mucha utilidad para evaluar la calidad de energía del área de Medicina Nuclear del HCAM.

Tabla 35. Características Fluke 345

Voltaje			
Magnitud		Rango de medida	Precisión
Vrms (CA + CC)		1 - 1000 V fase-neutro	± 0,1% del voltaje nominal
Voltaje pico		1 - 1400 V pico	5% del voltaje nominal
Factor de cresta (CF) de voltaje		1,0 > 2,8	± 5%
V fundamental		1 - 1000 V fase-neutro	± 0,1% del voltaje nominal
Corriente (precisión sin incluir precisión de sonda)			
Corriente pico	1 mV / A	5500 A	± 5%
Factor de cresta (CF) de corriente		1- 10	± 5%
A fundamental	1 mV/A 1x	5 -2000 A	± 0,5%
Frecuencia			
Hz	60 Hz nominal	51,00 - 69,00 Hz	± 0,01 Hz
Armónicos			
Orden de armónicos (n)		Grupos de armónicos según la norma IEC 61000-4-7	
Orden de interarmónicos (n)		Subgrupos de armónicos e interarmónicos de acuerdo con la norma IEC 61000-4-7	
% voltaje	f	0,0% -100%	± 0,1% ± n x 0,1%
	Absoluta	0,0 -1000 V	± 5% 1
	THD	0,0% - 100%	± 2,5%
% A	f	0,0% - 100%	± 0,1% ± n x 0,1%
	Absoluta	0,0 - 600 A	± 5% ± 5 cuentas
	THD	0,0% - 100%	± 2,5%
% W	f o r	0,0% - 100%	± n x 2%
	THD	0,0% - 100%	± 5%
Ángulo de fase		-360° - +0°	± n x 1°
Flicker			
Plt, Pst (1 min) Pinst		0,00 - 20,00	± 5%
Desbalance			
% voltaje		0,0% - 20,0%	± 0,1%
% A		0,0% - 20,0%	± 1%

Fuente: [35]

3.1.1 Consideraciones importantes del Fluke 435-II

Acerca del instrumento de medición, se enumeran las siguientes consideraciones que deberán ser tomadas en cuenta antes de realizar un análisis de energía:

1. El cálculo de armónicos se realiza según la norma IEC 61000-4-7.
2. La medición se basa en la norma IEC 61000-4-30, considerando al Fluke un instrumento de clase A.
3. La calidad de energía se valor conforme a la norma EN 50160
4. El flicker sigue la norma 61000-4-15
5. El desbalance de corriente no debe ser mayor al 10%. Si sucede esto, se debe considerar el uso de otro instrumento de medición; el desbalance de voltaje no debe superar el 2%.

3.1.2 Puntos de medición

Para analizar los parámetros de calidad de energía eléctrica se realiza la medición en los terminales de conexión del equipo Acelerador Linac Compact, es decir, en la salida del regulador de voltaje, con el fin de determinar la causa por la cual dicho equipo sufre interrupciones del servicio eléctrico durante su funcionamiento.

3.1.3 Generalidades sobre las mediciones de calidad de energía

La medición y prueba de la calidad de la fuente de suministro, de acuerdo con la norma EN 50160 requiere monitoreo continuo por un periodo de 7 días de los siguientes parámetros [36]:

- Voltajes y corrientes en las tres fases, y frecuencia
- Distorsión armónica
- Desbalance de voltaje
- Variaciones lentas y rápidas de voltaje definidas como flicker de larga duración (Plt) y flicker de corta duración (Pst) respectivamente.

Las mediciones obtenidas, con el analizador pueden exportarse a Excel, y de ahí a Matlab para su respectivo procesamiento. En la sección siguiente se grafican todos los resultados relacionados a la calidad de energía del área de Medicina Nuclear. Las demás gráficas de energía y potencia se muestran en el Anexo 4.

3.2 Análisis de las mediciones de calidad de energía del HCAM

Con el período de mediciones de calidad de energía eléctrica comprendido entre el 22 de julio y 31 de julio del presente año, correspondientes a 8 días aproximadamente, y tomando en cuenta que la primera medición se realizó a las 11:58 AM, y la última tuvo lugar a las 10:48 AM, se obtuvieron las siguientes gráficas:

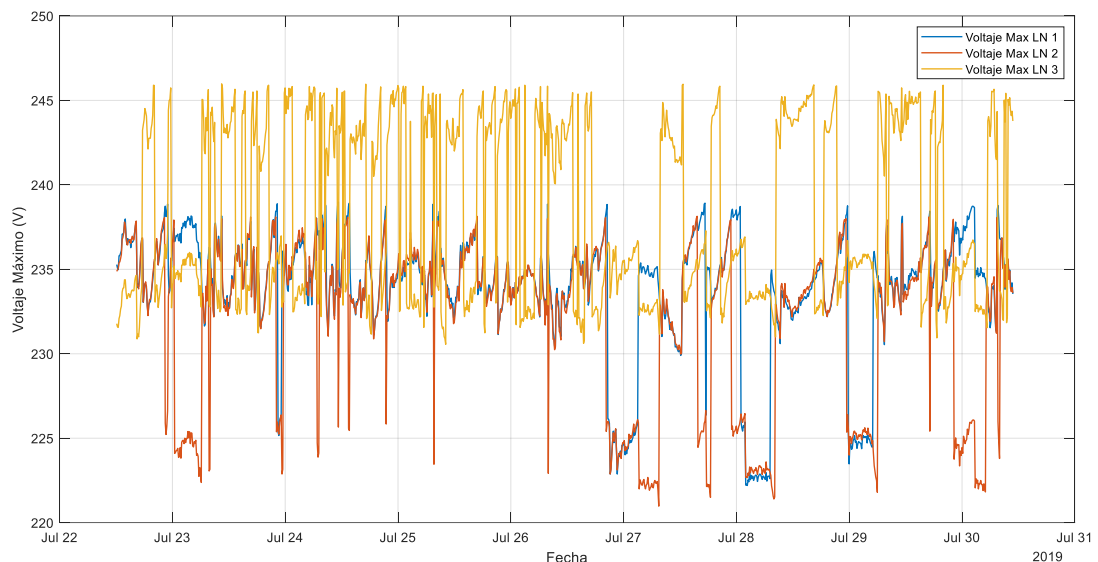


Figura 9. Voltaje máximo LN
Elaborado por: Guillermo Alejandro Rodríguez Morocho

En la Figura 9, se muestran los resultados obtenidos por el Fluke 435, referentes al voltaje máximo fase-neutro del sistema trifásico de suministro: VLN1, VLN2 y VLN3. Como observación principal, y debido a que el tiempo de muestreo es de 10 minutos, no se puede determinar si las perturbaciones del voltaje corresponden a variaciones lentas, rápidas, u transitorios. Sin embargo, sí se puede determinar a partir de los valores medidos, los niveles máximos del voltaje de operación, que deben estar dentro de $\pm 8\%$ del voltaje nominal según la regulación 005/018 del ARCONEL. La gráfica indica que la fase con mayores magnitudes de voltaje es la fase 3 (VNL3) siendo el valor máximo de 245.98. Mientras que la fase con menores perturbaciones de voltaje es la fase 2 (VNL2).



Figura 10. Voltaje mínimo LN
Elaborado por: Guillermo Alejandro Rodríguez Morocho

En la Figura 10, se muestran los valores pertenecientes a los voltajes mínimos por cada fase, VLN1, VLN2 y VLN3. Según la gráfica, la rama cuyos voltajes no disminuyeron por debajo de los 227.58 V es la rama VNL1. El voltaje mínimo pertenece a la fase 2, y su valor es 218.72 V.

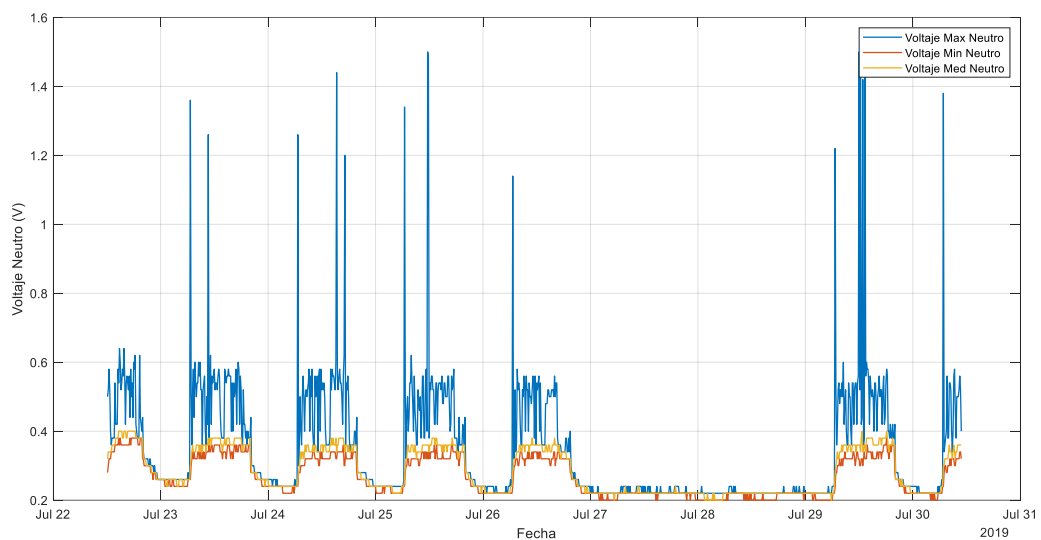


Figura 11. Voltaje del neutro
Elaborado por: Guillermo Alejandro Rodríguez Morocho

En la Figura 11, se resumen las mediciones obtenidas dentro del periodo de 8 días para el Voltaje Neutro máximo, mínimo y medio. Se puede observar en la curva azul, que el voltaje máximo neutro presenta picos no deseados, y el máximo valor alcanza 1.5 V.

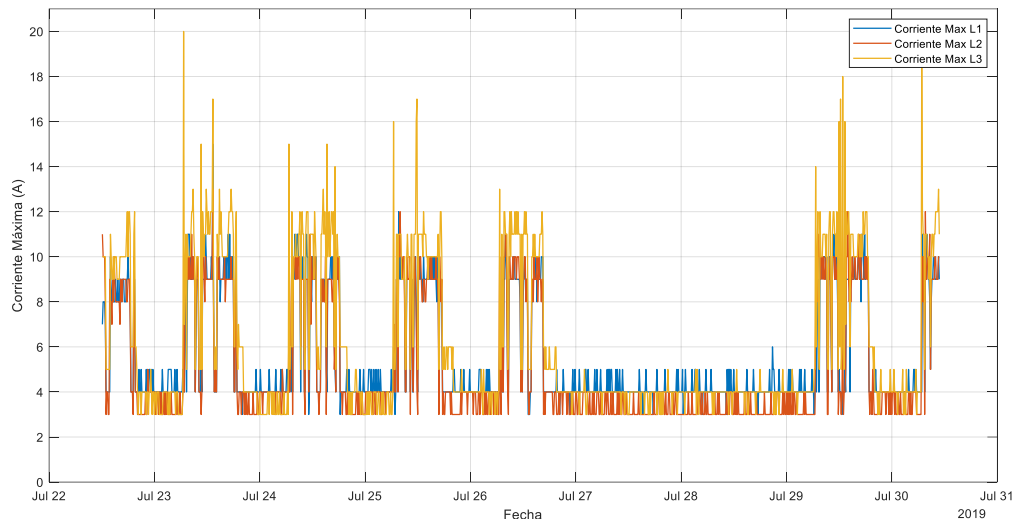


Figura 12. Corriente máxima L1, L2, L3
Elaborado por: Guillermo Alejandro Rodríguez Morocho

En la Figura 12, se muestra la comparación de las mediciones correspondientes a la corriente máxima de las líneas 1, 2 y 3. La línea que tiene los mayores voltajes es la línea 2, siendo el máximo valor 20 A. Sin dudas existe un desbalance debido a la sobrecarga de la línea 3, que deberá ser afrontado para mejorar la calidad de energía de la zona de radioterapia.

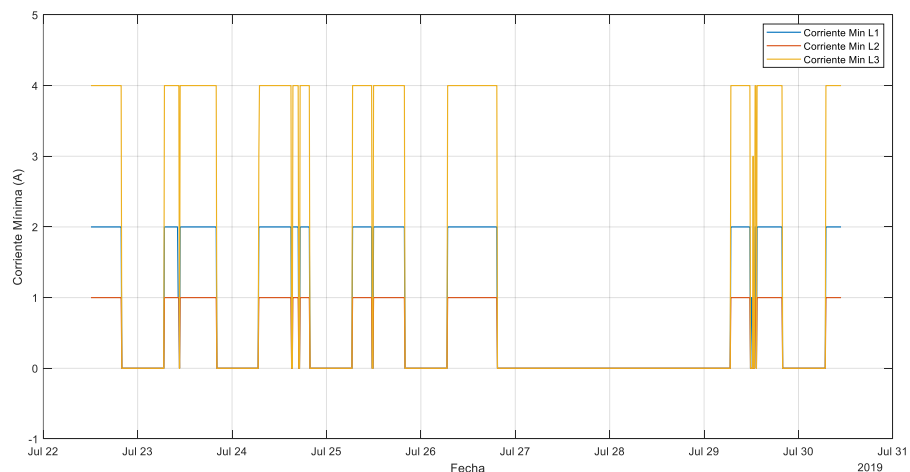


Figura 13. Corriente Mínima L1, L2, L3
Elaborado por: Guillermo Alejandro Rodríguez Morocho

Por otro lado, en la Figura 13, se grafican los valores correspondientes a las corrientes mínimas de cada línea. De igual manera, la corriente que alcanza las mayores magnitudes es la que cruza por la línea 3, 4 Amperios, mientras que la de menor variación es la de la línea 1 cuyo valor máximo es 1 Amperio.

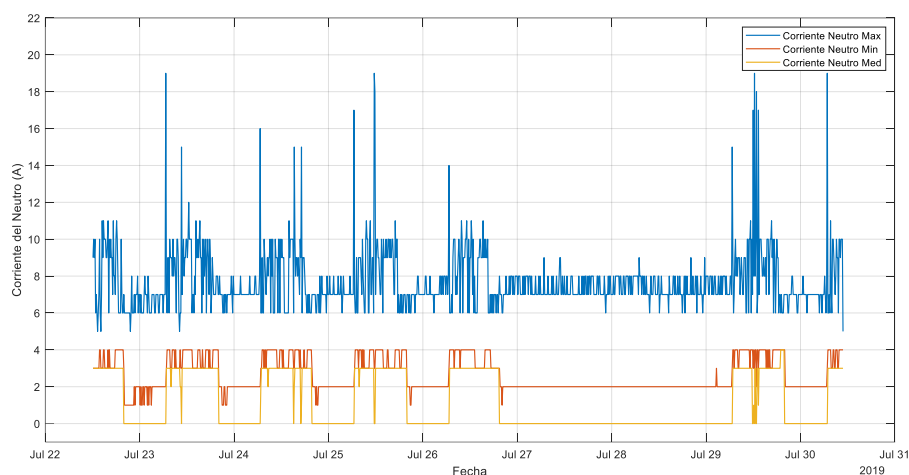


Figura 14. Corriente del Neutro
Elaborado por: Guillermo Alejandro Rodríguez Morocho

Cuando se analiza la Figura 14, perteneciente a las corrientes del neutro, tanto máximas, mínimas y medias, en donde claramente la corriente máxima del neutro es la variable por tener en consideración, se determina que el valor máximo es de 19 A. Este valor de corriente puede ser el resultado de una mala puesta a tierra, o del desbalance de cargas del sistema trifásico.

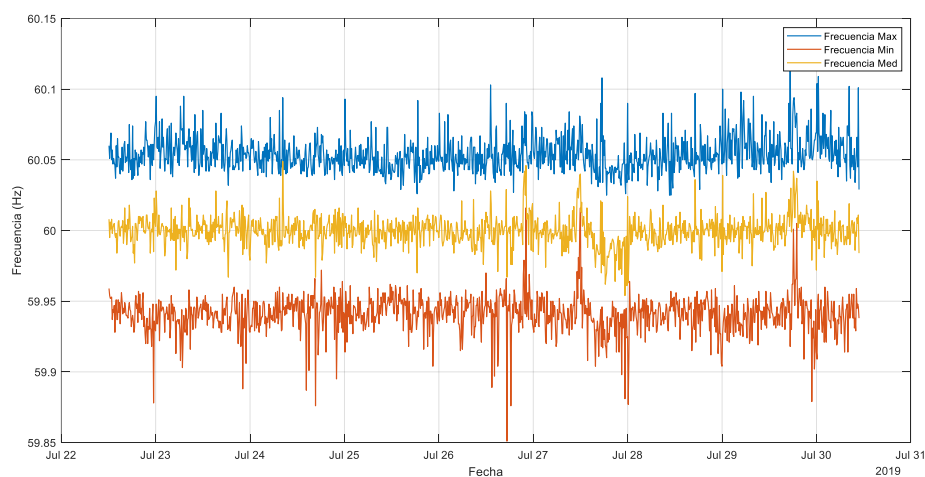


Figura 15. Variación de Frecuencia
Elaborado por: Guillermo Alejandro Rodríguez Morocho

En la Figura 15, se grafican las variaciones de frecuencia para todo el periodo de medición señalado y se halla que la mayor variación de frecuencia ocurrida el 26 de Julio de 2019, y siendo 60 Hz la referencia, es de 0.149 Hz.

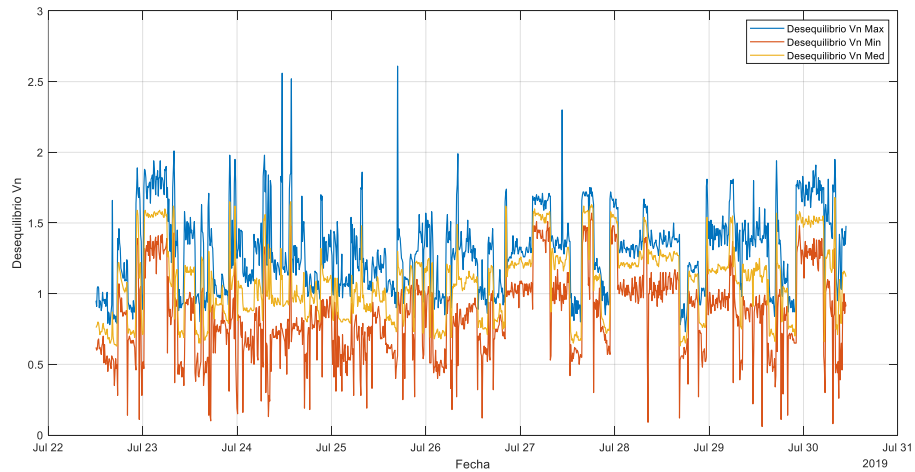


Figura 16. Desequilibrio Vn
Elaborado por: Guillermo Alejandro Rodríguez Morocho

En la Figura 16, se grafica el desequilibrio del voltaje de secuencia negativa, V_n , que alcanza el valor máximo del 2.61% del voltaje de secuencia positiva del sistema. Este valor se registró el día 25 de julio a las 16:48:34 PM.

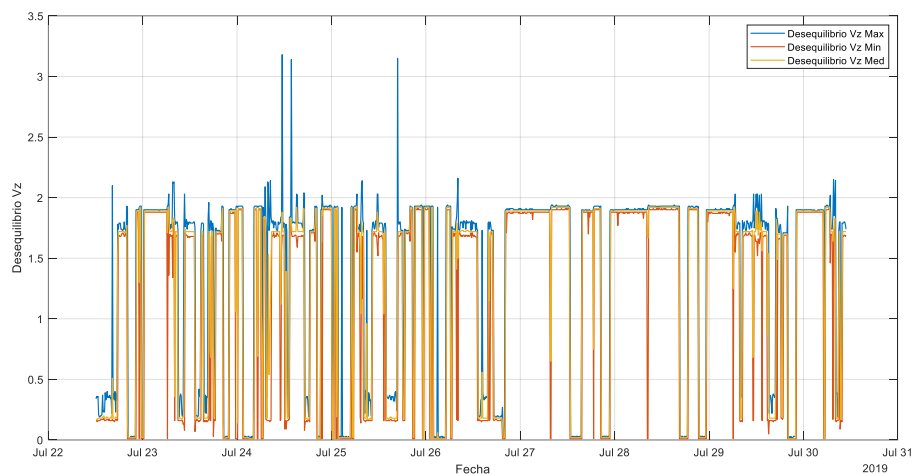


Figura 17. Desequilibrio Vz
Elaborado por: Guillermo Alejandro Rodríguez Morocho

En la Figura 17, se grafica el desequilibrio del voltaje de secuencia cero, V_z (V-Zero). Al igual que V_n , V_z es una componente importante que permite caracterizar el desbalance entre las fases L1N, L2N y L3N. El mayor valor se obtuvo el miércoles 24 de julio a las 11:28:34 PM, correspondiente a 3,18 % del voltaje de secuencia positiva del sistema.

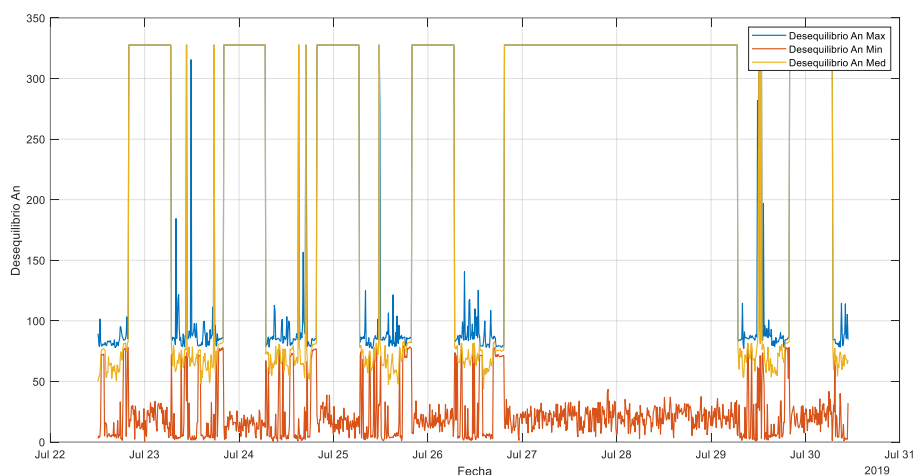


Figura 18. Desequilibrio An
Elaborado por: Guillermo Alejandro Rodríguez Morocho

En la Figura 18, se muestra el porcentaje de desequilibrio de la corriente negativa con respecto a la corriente positiva. El valor máximo correspondiente al 327,67 % se obtuvo durante los siguientes períodos:

- Desde las 19:58:43 PM del 22 de Julio hasta las 06:38:34 AM del 23 de Julio;
 - Desde las 20:08:43 PM del 23 de Julio hasta las 06:38:34 AM del 24 de Julio;
 - Desde las 19:48:34 PM del 24 de Julio hasta las 06:28:34 AM del 25 de Julio
 - Desde las 18:58:34 PM del 25 de Julio hasta las 06:38:34 AM del 26 de Julio;
 - Desde las 19:28:34 PM del 26 de Julio hasta las 06:38:34 AM del 29 de Julio;
- y
- Desde las 19:58:34 PM del 29 de Julio hasta las 06:48:34 AM del 30 de Julio.

Con estas mediciones se concluye que el mayor desequilibrio de corriente se presenta cuando el Acelerador Lineal está apagado. Si de nuevo se observan las Figuras 12 y 13, se podrá notar que aquí los valores de corriente elevados se presentan con el equipo encendido, pero esto no produce desbalance. También es cierto que la mayoría de estos picos de corriente de línea se dan en la energización del acelerador lineal. La Figura 19, del factor de potencia acentúa estas observaciones.

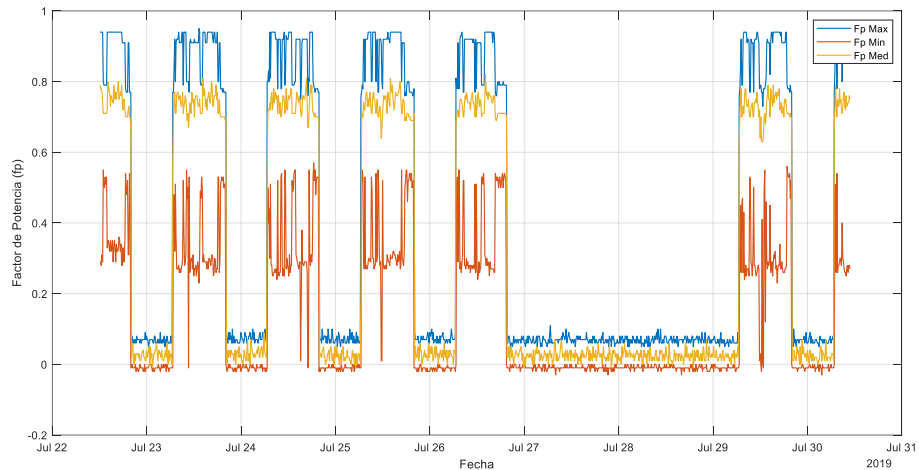


Figura 19. Factor de potencia
Elaborado por: Guillermo Alejandro Rodríguez Morocho

En la Figura 20, se indican los porcentajes máximos, medios, y mínimos de la distorsión armónica total de voltaje, THDv, de la fase 1 (VL1N) siendo los de mayor importancia los valores máximos que reflejan las condiciones críticas del sistema.

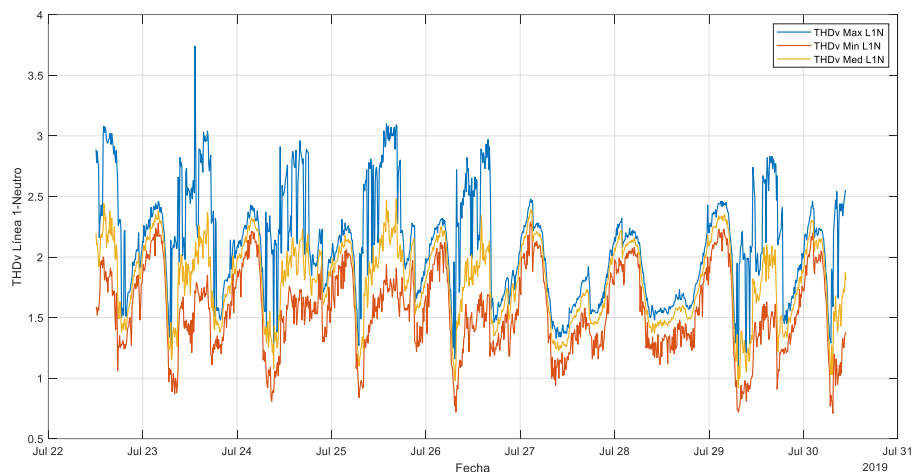


Figura 20. Distorsión armónica de voltaje de la fase 1 (VL1N)
Elaborado por: Guillermo Alejandro Rodríguez Morocho

El valor máximo es de 3,74%, tomado el 23 de Julio a las 13:18:34 PM. Es decir, este valor se presentó en una de las fechas en donde el Acelerador Lineal estuvo encendido. La Figura 21, en cambio muestra los valores de THDv de la fase 2, mientras que la Figura 22, los de la fase 3.

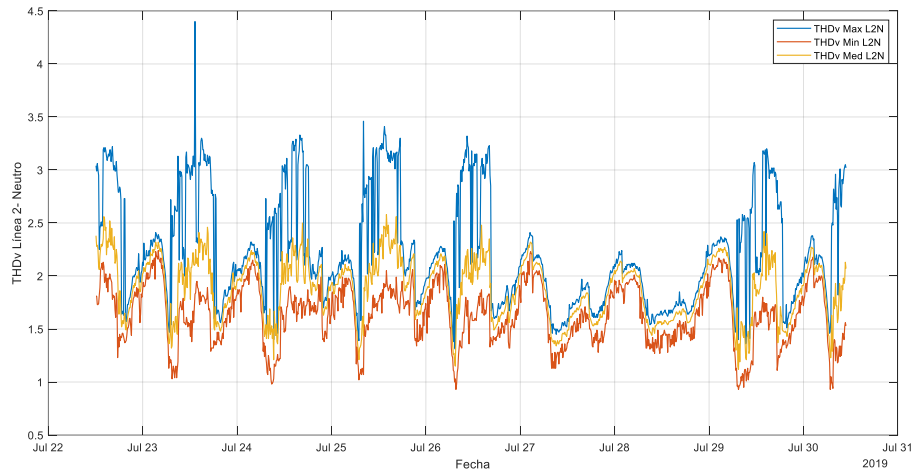


Figura 21. Distorsión armónica de voltaje de la fase 2 (VL2N)
Elaborado por: Guillermo Alejandro Rodríguez Morocho

Al analizar las gráficas de las Figuras 21 y 22, pertenecientes al porcentaje de THDv de las fases 2 y 3 respectivamente, se extrae que el valor máximo es 4,4 % para la fase 2 y 3,93 % para la fase 3. Estos valores fueron registrados en la misma fecha que se obtuvo el valor máximo de THDv de la línea 1. Puede decirse que los valores registrados no son tan elevados en estas gráficas.

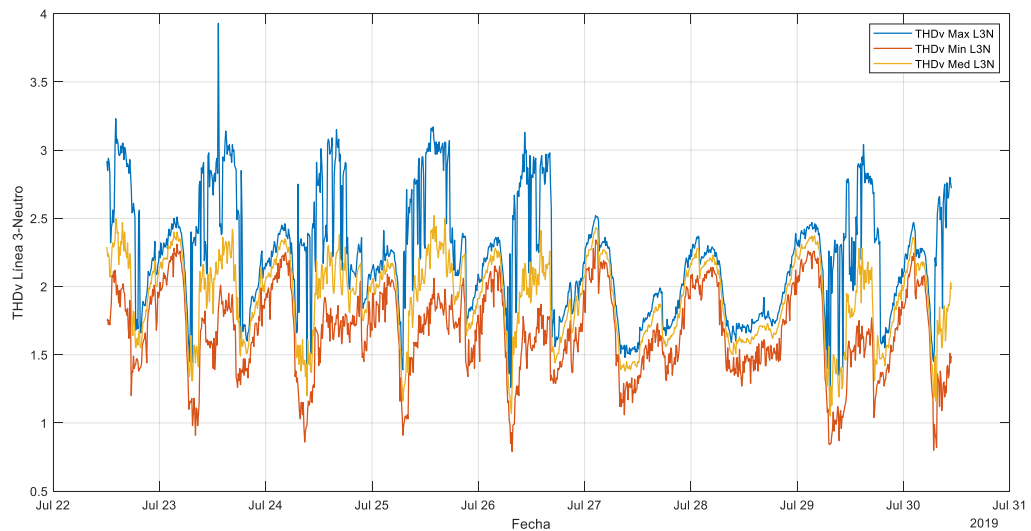


Figura 22. Distorsión armónica de voltaje de la fase 3 (VL3N)
Elaborado por: Guillermo Alejandro Rodríguez Morocho

En la Figura 23, se grafican las mediciones del THDv del neutro, siendo el mayor de 99,77 %, pero es alarmante que el mínimo valor sea de 32,64 %. Sin dudas, uno de los problemas que se debe atacar es la configuración del neutro, desde la conexión del transformador hasta la puesta a tierra.

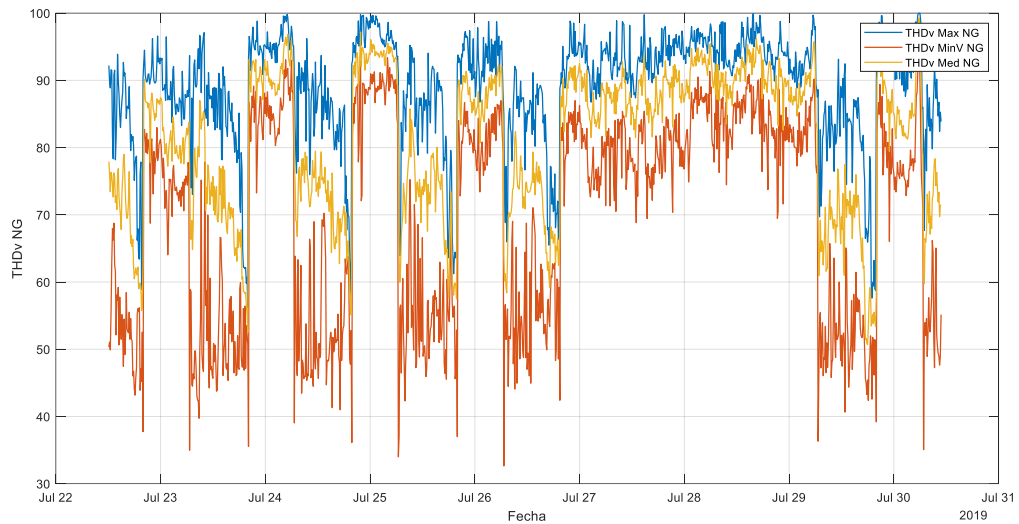


Figura 23. Distorsión armónica de voltaje del neutro (VNG)
Elaborado por: Guillermo Alejandro Rodríguez Morocho

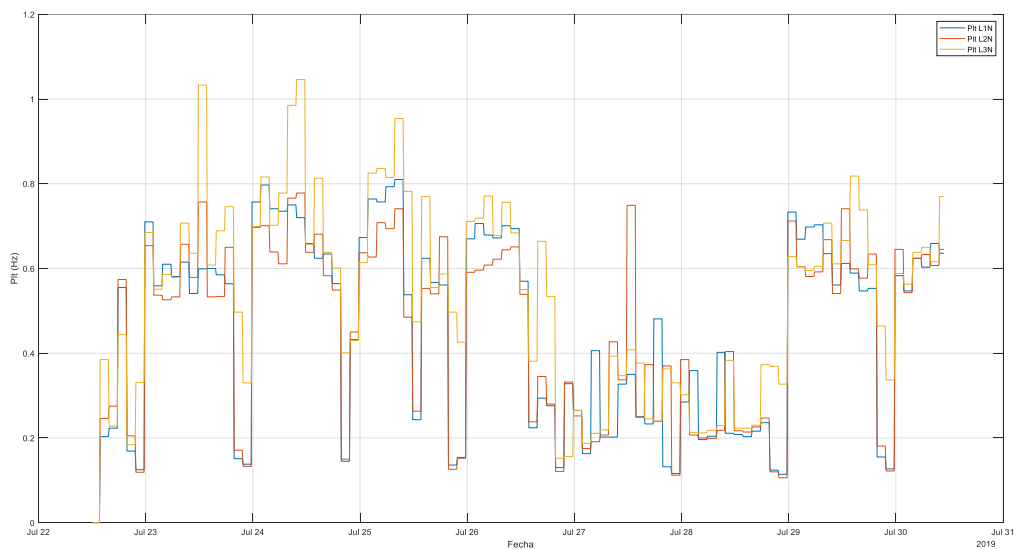


Figura 24. Severidad del Parpadeo Plt
Elaborado por: Guillermo Alejandro Rodríguez Morocho

En la Figura 24, se muestra la severidad de parpadeo de larga duración, Plt, para las tres fases. El valor más elevado corresponde a la fase 3, y corresponde a un Plt de 1.046. Este valor está por encima de la normativa, sin embargo, se debe evaluar si se sobrepasa el 95% de las veces. La fase con menos severidad es la fase L2N. En promedio el Plt de esta fase es 0.45127, mientras que para las fases L1N y L3N es 0.4554 y 0.5283, respectivamente.

3.2.1 Análisis de armónicos

Se dedica una sección entera al análisis de los armónicos ya que muchas veces son causantes de los problemas del neutro, como el calentamiento indeseado, y de igual

manera de los transformadores, como consumos de potencia excesivos [37] y disminución de la vida útil. Para el análisis se toman las gráficas obtenidas con el Fluke 435-II.

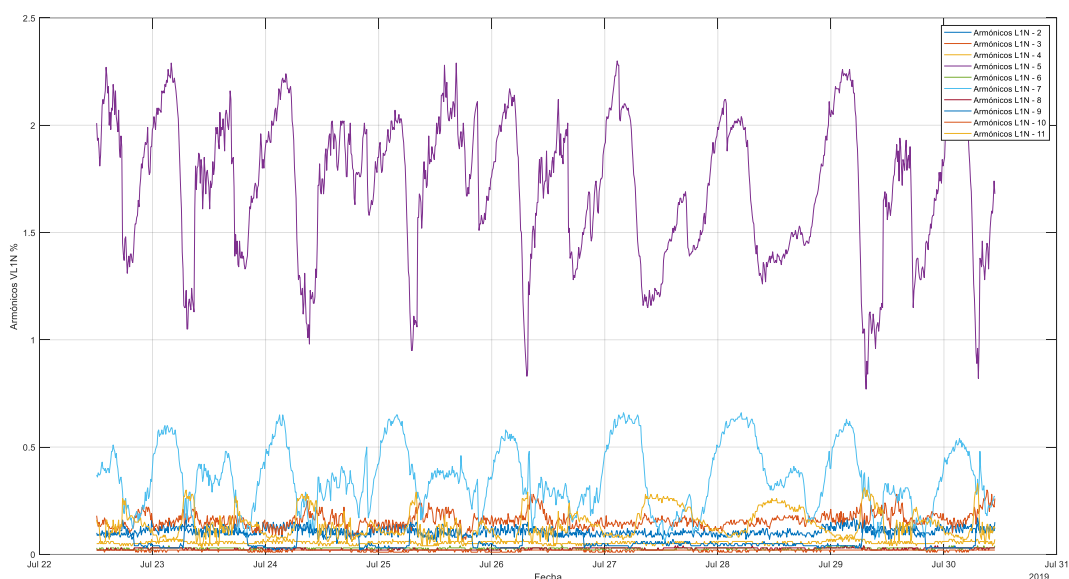


Figura 25. Armónicos del voltaje de la fase 1
Fuente: Analizador de energía Fluke 435-II

En la Figura 25, se indican los armónicos del voltaje de la fase 1, VLN1, según el orden n , desde el orden 3 hasta el orden 11. Se puede notar que los mayores valores de armónicos son del orden 5, siendo en realidad la componente de mayor peso en el THD.

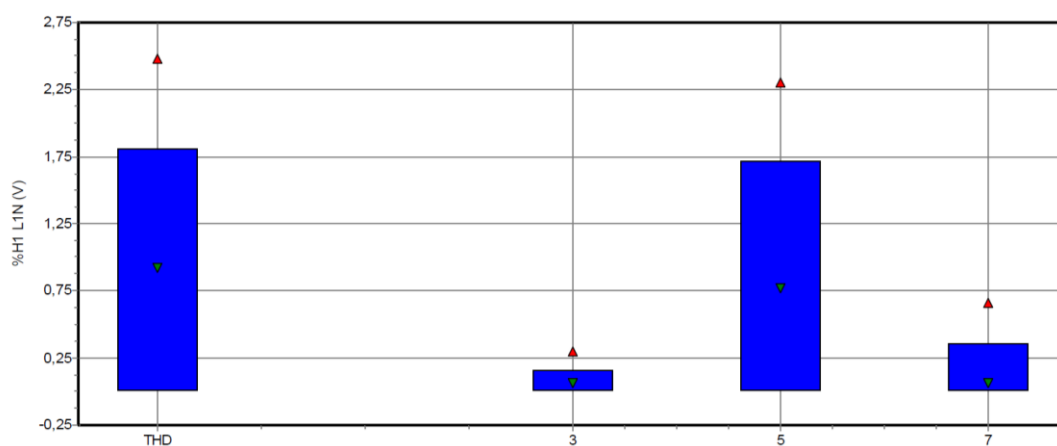


Figura 26. THD y armónicos hasta el orden 7 del voltaje de fase 1
Fuente: Analizador de energía Fluke 435-II

En la Figura 26, se observa una descomposición de los armónicos hasta el orden 7 del voltaje de la fase 1, en un gráfico de barras para una mejor visualización de los

resultados, en donde se comprueba que el quinto armónico, o de secuencia negativa, es el de mayor peso.

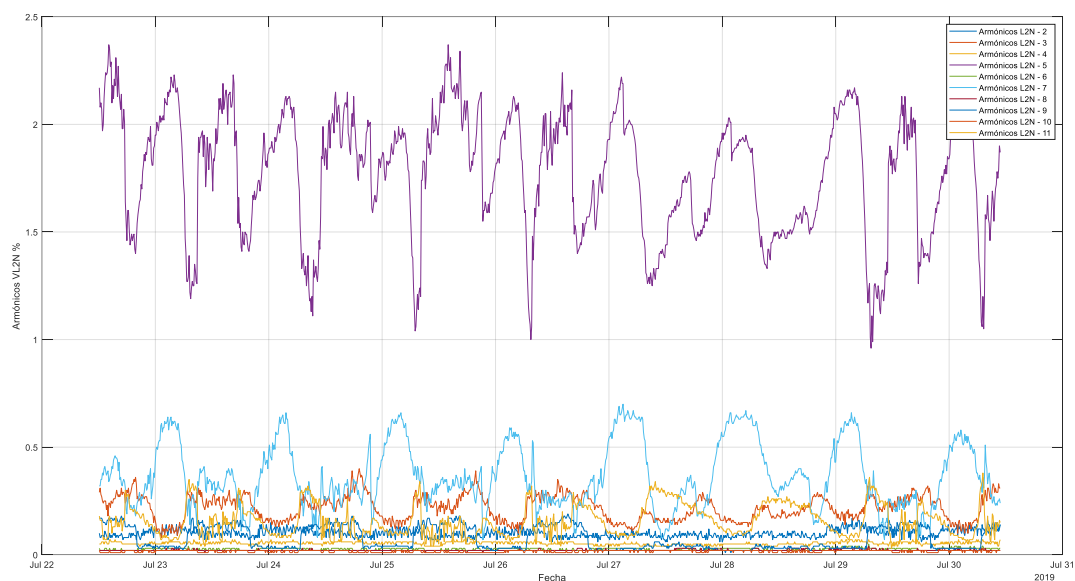


Figura 27. Armónicos del voltaje de la fase 2
Fuente: Analizador de energía Fluke 435-II

En la Figura 27, se muestra la descomposición del THD de voltaje de la fase 2, hasta el armónico de orden 11. El armónico con menor peso en el THD total es el de orden 9. En la Figura 28, se muestra el gráfico de barras en donde se observa que también aquí el armónico de mayor magnitud es el quinto.

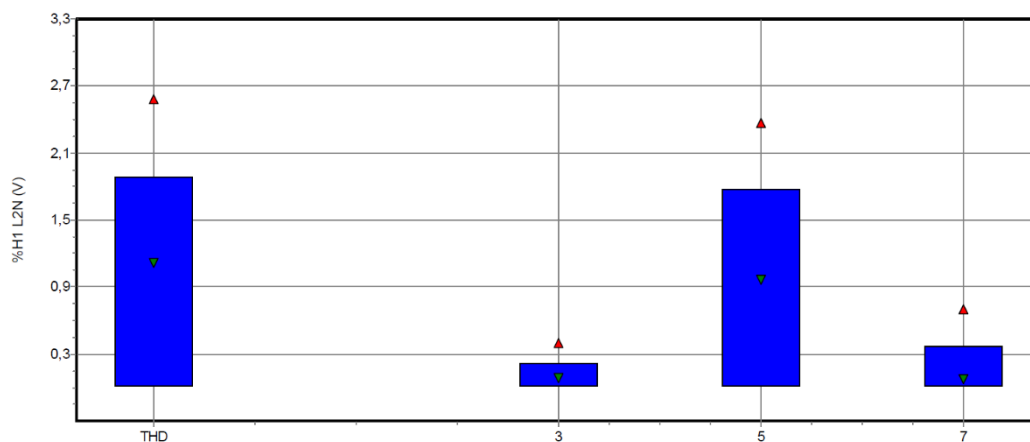


Figura 28. THD y armónicos hasta el orden 7 del voltaje de fase 2
Fuente: Analizador de energía Fluke 435-II

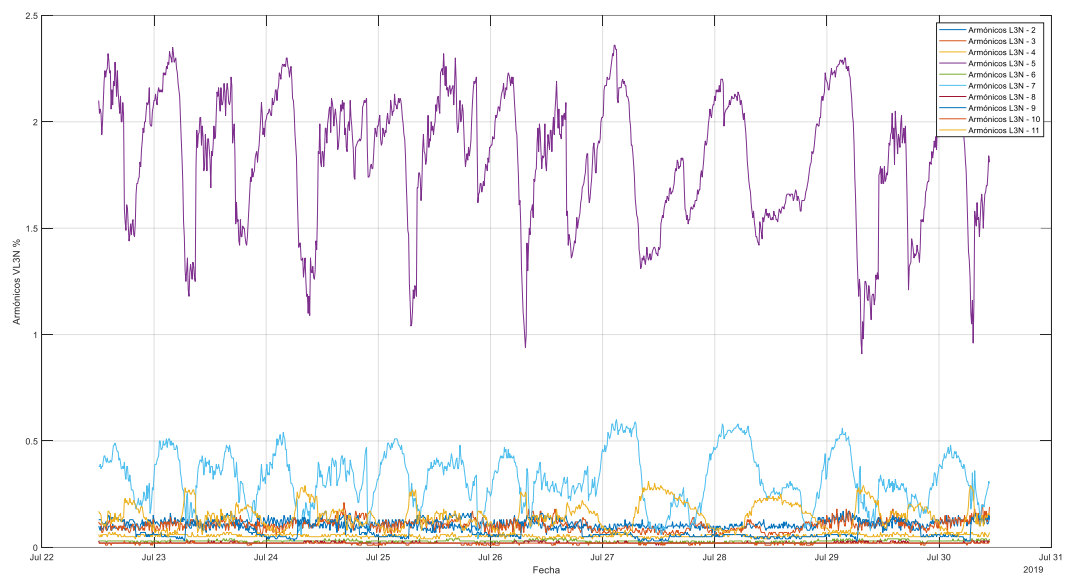


Figura 29. Armónicos del voltaje de la fase 3
Fuente: Analizador de energía Fluke 435-II

De igual manera, en la Figura 29, se indican los armónicos para el voltaje de la fase 3. Todos estos resultados dan indicios de la presencia de cargas no lineales en el sistema. Según la Figura 30, el armónico de orden 7 es el segundo de mayor impacto, después del armónico de orden 5. Los quintos y séptimos armónicos pueden suprimirse con una conexión en paralelo de dos transformares, en donde uno está conectado en Y-Y y el otro en Delta-Delta [9]. Sin embargo, eso resultaría costoso en vista de que los quintos y séptimos armónicos no son lo suficientemente grandes para justificar la posible solución mencionada.

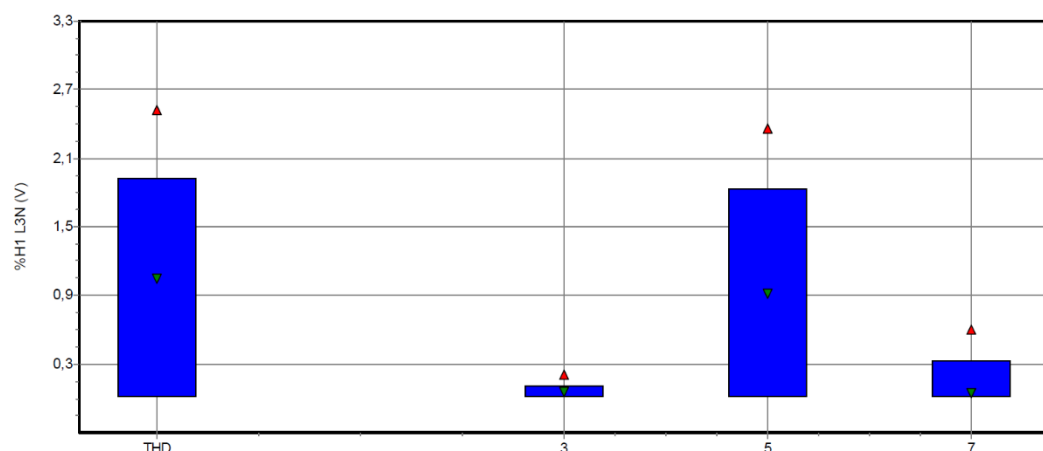


Figura 30. THD y armónicos hasta el orden 7 del voltaje de fase 3
Fuente: Analizador de energía Fluke 435-II

En la Figura 31, se analizan los armónicos del neutro. Claramente los armónicos más elevados son los de tercer orden, o de secuencia cero. Solamente en un instante de la medición del 28 de Julio, el valor de quinto armónico iguala al valor máximo del armónico de tercer orden, cuyo valor es 330% aproximadamente.

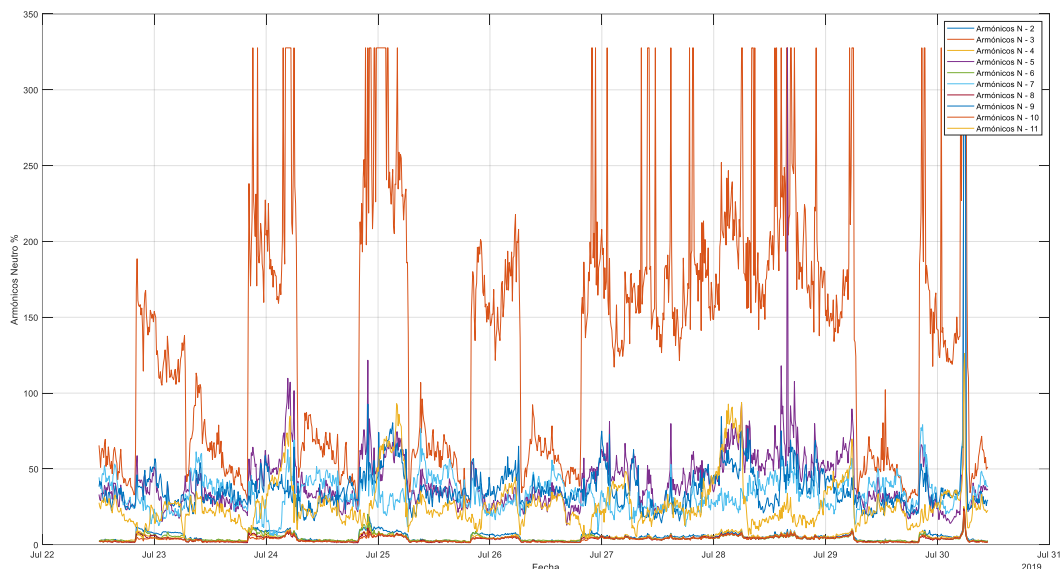


Figura 31. Armónicos del voltaje del neutro
Fuente: Analizador de energía Fluke 435-II

Para finalizar esta sección, en la Figura 32, se muestra el gráfico de barras del tercer, quinto y séptimo armónico, en donde se puede observar que el tercer armónico es aproximadamente tres veces más grande a los otros mencionados, por cuanto es deseable suprimirlo. Para ello se puede optar por la instalación de un transformador Delta-Y en el neutro, ya que actúan como trampas de corrientes de secuencia cero [9].

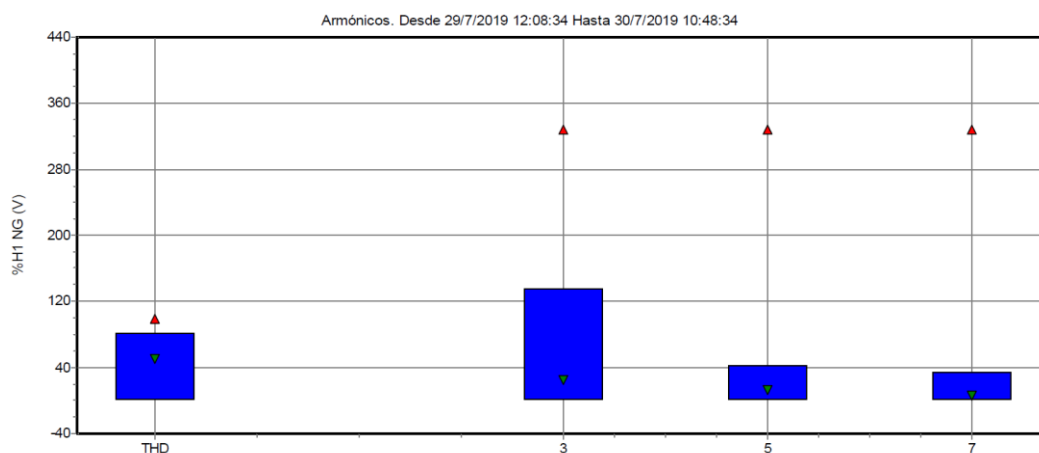


Figura 32. THD y armónicos hasta el orden 7 del voltaje del neutro.
Elaborado por: Guillermo Alejandro Rodríguez Morocho

3.3 Comparación de los valores obtenidos con las normas nacionales e internacionales.

En base a las normas descritas en el Capítulo I de este trabajo de titulación, se tabulan a manera de resumen los límites establecidos para el cumplimiento de calidad de la energía eléctrica en bajo voltaje en la Tabla 36.

Tabla 36. Límites de calidad de energía según normas nacionales e internacionales

Magnitudes	EN 50160	61000-2-4	ARCONEL - 005/18	IEEE 1159	IEEE 519
Variación del voltaje de suministro (%)	±10	±8	±8	-	-
Plt	1	-	-	-	-
Pst	-	-	1	0.2 - 2	-
Desbalance de voltaje (%)	0- 2	2	2	0.5-2	-
Desbalance de corriente	-	-	-	1-30%	-
THDv (%)	8	8	8	-	8
TDD (%)	-	-	20	-	20

Elaborado por: Guillermo Alejandro Rodríguez Morocho

Para realizar un análisis completo de la situación actual del Hospital Carlos Andrade Marín, en busca de las soluciones óptimas para la mejora de la calidad de energía, se realiza la Tabla 37, en donde se comparan las mediciones realizadas con las normas EN 60160, IEC 61000-2-4, IEEE 1159, IEEE 519 y ARCONEL 005/18.

Tabla 37. Comparación de las mediciones realizadas con la norma

Magnitudes	Mediciones	EN 50160	61000-2-4	ARCONEL - 005/18	IEEE 1159	IEEE 519
Variación de voltaje %	220 V mín. 246 V máx.	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
Plt	>1,046 -1% de las veces	Cumple	-	-	-	-
Pst	-	-	-	-	-	-
Desbalance de voltaje %	> 2 % - 0,4% de las veces	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
Desbalance de corriente	-	-	-	-	No cumple	-
THDv %	Fase Neutro	Cumple No cumple	Cumple No cumple	Cumple No cumple	Cumple No cumple	Cumple No cumple

Elaborado por: Guillermo Alejandro Rodríguez Morocho

En conclusión, el Hospital cumple casi todos los límites de calidad de la energía, excepto el límite de corriente de desbalance de corriente. Además, si se toma en cuenta la distorsión armónica del neutro, sería el segundo parámetro que no cumple con las normas establecidas. En adición a estos parámetros se deben comparar los armónicos

de voltaje. Para ello se construye la Tabla 38, para los armónicos hasta el orden 11, límite que se define según las Figuras 25, 27, 29 y 31, previamente presentadas. El proceso de comparación, de los armónicos medidos de los voltajes de fase, con las normas se realiza en la Tabla 39.

Tabla 38. Comparación de los armónicos de voltaje de fase con las normas

Orden armónico n (voltaje)	EN 50160	61000-2-4	ARCONEL- 005/18	IEEE 519
2	2.0 %	2.0 %	5.0 %	5.0 %
3	5.0 %	5.0 %	5.0 %	5.0 %
4	1.0 %	1.0 %	5.0 %	5.0 %
5	6.0 %	6.0 %	5.0 %	5.0 %
6	0.5 %	0.5 %	5.0 %	5.0 %
7	5.0 %	5.0 %	5.0 %	5.0 %
8	0.5 %	0.5 %	5.0 %	5.0 %
9	1.5 %	1.5 %	5.0 %	5.0 %
10	0.5 %	0.5 %	5.0 %	5.0 %
11	3.5 %	3.5 %	5.0 %	5.0 %

Elaborado por: Guillermo Alejandro Rodríguez Morocho

Tabla 39. Comparación de los armónicos de los voltajes de fase con las normas

Armónico n (voltaje de fase)	Mediciones	EN 50160	61000-2- 4	ARCONEL- 005/18	IEEE 519
2	≤ 0.17 %	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
3	≤ 0.40 %	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
4	≤ 0.08 %	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
5	≤ 2.37 %	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
6	≤ 0.05 %	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
7	≤ 0.70 %	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
8	≤ 0.04 %	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
9	≤ 0.19 %	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
10	≤ 0.03 %	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
11	≤ 0.38 %	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple

Elaborado por: Guillermo Alejandro Rodríguez Morocho

Por último, en la Tabla 40 se realiza una comparación de los armónicos medidos del voltaje del neutro, en donde se puede observar que ninguno de los valores para n impar cumple con las normas. El armónico de orden 2 tuvo valores superiores al 2%, el 95.30% de las veces y se estableció que no cumple con ninguna normativa. Luego, desde el armónico 3 hasta el 11, considerando solo los impares, sobrepasaron los límites establecidos el 100% de las veces. Por ejemplo, los porcentajes del armónico 3, siempre fueron superiores al 25.27 %, es decir, 5 veces más grandes que los permitidos por las normas.

Tabla 40. Comparación de los armónicos del voltaje de neutro con las normas

Orden armónico (voltaje de neutro)	Mediciones	EN 50160	61000-2-4	ARCONEL-005/18	IEEE 519
2	> 2 % - 95 % de veces	No cumple	No cumple	No cumple	No cumple
3	≥ 25.27 %	No cumple	No cumple	No cumple	No cumple
4	≥ 1.39 % siempre	No cumple	No cumple	Cumple	Cumple
5	≥ 12.91 %	No cumple	No cumple	No cumple	No cumple
6	≥ 1.46 % siempre	No cumple	No cumple	Cumple	Cumple
7	≥ 5.99 %	No cumple	No cumple	No cumple	No cumple
8	≥ 1.16 % siempre	No cumple	No cumple	Cumple	Cumple
9	≥ 14.37 %	No cumple	No cumple	No cumple	No cumple
10	≥ 1.2 % siempre	No cumple	No cumple	Cumple	Cumple
11	≥ 3.89 %	No cumple	No cumple	No cumple	No cumple

Elaborado por: Guillermo Alejandro Rodríguez Morocho

Con respecto a los armónicos pares. El porcentaje del armónico 4 siempre fue mayor a 1.39%, sobrepasando el límite establecido de 1% de las normas europeas EN 50160 y 61000-2-4. La norma americana y ecuatoriana tiene mayor flexibilidad frente a estos límites ya que establecen en 5% cualquier armónica individual sin importar si n es par o impar. La condición es que 95% de las veces el porcentaje de armónico n debe ser inferior a los límites. Para resumir los resultados de los armónicos pares comparados con las normas americanas y ecuatorianas se realiza la Tabla 41. En base a los resultados de este capítulo y a la situación actual determinada en la sección 2.2.2, en el capítulo siguiente se propondrán mejoras para reducir los problemas encontrados.

Tabla 41. Comparación de armónicos pares según norma ecuatoriana y americana

Armónico Par %	Mediciones	IEEE- 519 ARCONEL- 005/18
2	< 5 % el 49,48 % de las veces Máx. registrado= 23.4 % Mín. registrado=1.20 %	Cumple
4	< 5 % el 64,05 % de las veces Máx. registrado= 25.26 % Mín. registrado=1.39 %	Cumple
6	< 5 % el 71.29 % de las veces Máx. registrado= 20.07 % Mín. registrado=1.46 %	Cumple
8	< 5 % el 77.66 % de las veces Máx. registrado= 23.76 % Mín. registrado=1.16 %	Cumple
10	< 5 % el 82.37 % de las veces Máx. registrado= 22.16 % Mín. registrado=1.20 %	Cumple

Elaborado por: Guillermo Alejandro Rodríguez Morocho

CAPÍTULO IV

SOLUCIONES A LA MEJORA DE LA CALIDAD Y CONFIABILIDAD DEL HOSPITAL CARLOS ANDRADE MARÍN

Para solventar los problemas de la calidad de energía en los sistemas de distribución se han empleado muchos dispositivos a lo largo de los años, como los compensadores reactivos, bancos de capacitores, reguladores de voltaje, restauradores de voltaje dinámicos (DVR), entre otros [38]. Una de las principales soluciones, sino la mejor, es la implementación de un compensador estático de distribución D-STATCOM por sus siglas en inglés.

Por otro lado, los armónicos de los voltajes de fase muchas veces no son los únicos problemas de la calidad de la energía. En el caso del hospital bajo análisis, los armónicos de voltaje de fase estaban dentro de los límites, pero al analizar el neutro se pudo comprobar que existía un desbalance. Estos armónicos, causados por las secuencias cero y negativa, pueden ser reducidos con elementos pasivos de bajas pérdidas como capacitores o reactores [39].

Sin embargo, las soluciones con equipos más complejos como DVR, UPQC y D-STATCOM, son mejores. En los párrafos siguientes se evalúan estas y otras soluciones, como el diseño correcto de puesta a tierra, para la mejora de situación actual del Hospital Carlos Andrade Marín del IESS.

4.1 Nuevo diseño malla de puesta a tierra de la malla general 3

Los problemas en el neutro, reflejados en el Capítulo III de la calidad de energía, podrían reducirse con una adecuada puesta a tierra. Generalmente los diseños industriales de puesta a tierra requieren una malla cuyo valor no debe superar los 10 ohmios, cuando se manejan equipos sensibles.

Para comprobar la necesidad del diseño, se realizó la medición de la resistencia de la malla existente con un óhmetro de la marca Fluke 1625 tal como se muestra en las Figura 33 y se obtuvo un valor de 12.42 Ohmios, mismo que se muestra en la Figura 34. También es necesario indicar que el Hospital HCAM tiene tres mallas generales para distintos bloques. En este trabajo se rediseña la malla de puesta a tierra del bloque general 3 que contiene al área de Medicina Nuclear.



Figura 33. Medición de resistencia de malla de tierra
Elaborado por: Guillermo Alejandro Rodríguez Morocho



Figura 34. Valor de resistencia medido.
Elaborado por: Guillermo Alejandro Rodríguez Morocho

Una vez medida la resistencia de la malla de puesta a tierra, y de observar que su valor es superior al establecido, se propone que el rediseño cumpla un valor de 0.25 Ohm para que garantice menores pérdidas en caso de fallas, y que los voltajes de toque y de paso, según la norma IEEE Std. 80, sean menores a los establecidos. El diseño de la malla de tierra se realiza en Excel.

La medición de resistividad del suelo se ejecuta con el método de Wenner, considerado como uno de los más usados [40]. Para este proceso, 4 picas o electrodos se hunden a una profundidad b en el terreno de interés, manteniendo el mismo espaciamiento a entre picas. Para $b=2$, y $a=7$, el valor de resistividad calculado es de 90.98 Ohm-metro.

Sin embargo, este valor puede reducirse hasta < 1 Ohm-metro con el uso de geles, u otros aditivos en el tratamiento de suelo. Incluso se pueden usar electrodos químicos para tener bajas resistencias de puesta a tierra en terrenos de altas resistividades [41]. Dicho esto, se asume el valor de resistividad del terreno, luego del tratamiento en 4.15 Ohm-m. El mismo valor se asigna para la resistividad de la capa superficial, cuya profundidad es de 0.2 m. Esto puede observarse en la Tabla 42.

Tabla 42. Datos del suelo

Datos del suelo			
ρ	4,15	ohm/m	(resistividad del suelo)
ρ_s	4,15	ohm/m	(resistividad superficial)
h_s	0,2	m	(profundidad de la capa superficial)

Elaborado por: Guillermo Alejandro Rodríguez Morocho

El área de la malla de puesta a tierra será de 9 metros de largo, y 6 metros de ancho, alcanzado un área total de 54 metros cuadrados. En la hoja de cálculo de Excel también se especifica la cantidad de varillas de la malla, y si estas estarán en las esquinas. La longitud total de la malla con todas estas consideraciones será de 163,87 metros, tal como se muestra en la Tabla 43.

Tabla 43. Geometría de la malla de tierra

Geometría de la malla					
Largo (X):	9	m	Cantidad de varillas:	12	
Ancho (Y):	6	m	Largo:	1,8	m
Área:	54	m^2	Con varillas en las esquinas		
Espacio Vertical (Ey)	3	m	LR:	21,6	m
Espacio Horizontal (Ex)	3	m			
Conductores verticales:	9				
Conductores Horizontales:	8				
Lc:	126	m (Longitud total de la malla)	→ Lm:	163,87	m
h:	0,50	m (Profundidad de la malla)	Lt:	147,60	m

Elaborado por: Guillermo Alejandro Rodríguez Morocho

En la Tabla 44 se indican los parámetros eléctricos del tiempo de duración de falla, y la magnitud de la corriente de falla producida.

Tabla 44. Parámetros eléctricos

Parámetros eléctricos		
Ts:	0,5	s (Tiempo de duración de la falla)
3I0:	5910,68	A (3X I0 Corriente de falla)

Elaborado por: Guillermo Alejandro Rodríguez Morocho

Por último, se establece que el material conductor de la malla de puesta a tierra será de cobre comercial y sus características se muestran en la Tabla 45.

Tabla 45. Conductor de la malla

Conductor de la malla		
Tipo:	Cobre Comercial	
Conductividad:	97	% respecto al cobre puro
Factor α :	0,00381	20°C [1/ ° C]
K0 a 0°C:	242	
Tm:	1084	[°C] (Temperatura de fusión)
ρ a 20°C:	1,78	[$\mu\Omega \cdot \text{cm}$]
TCAP:	3,42	[J/cm ³ ·°C] Capacidad térmica
Tipo de Unión:	Soldada	
Temperatura máxima de la Unión:	450	°C
Ta:	40	°C (temperatura ambiente)
AKCMIL:	29,53	
Área mínima:	14,96	mm ²
Diámetro mínimo:	0,0044	mm
Conductor de diseño:	2/0 AWG	
área:	67,42	mm ²
diámetro:	0,0093	mm

Elaborado por: Guillermo Alejandro Rodríguez Morocho

Con las especificaciones previas, se calcula el voltaje de paso máximo para una persona con peso de 70 kg tal como se exhibe en la Tabla 46.

Tabla 46. Factores de paso y toque

Factores de paso y toque		
K:	0,00	(factor de reflexión)
Cs:	1,00	(factor de reducción)
Peso de la persona:	70	kg
Es	227,56	V (Voltaje de paso Max, para el peso indicado)
Et:	223,41	V (Voltaje de toque Max)

Elaborado por: Guillermo Alejandro Rodríguez Morocho

Por último, se obtienen los voltajes de paso, la corriente que circulará por la malla y su voltaje en presencia de falla, junto con el incremento de potencial, la resistencia de malla, y la condición de si el diseño cumple o no con el Std. IEEE 80 tal como se puede observar en la Tabla 47.

Tabla 47. Parámetros calculados con el diseño de puesta a tierra.

Cálculo de magnitudes del Std. IEEE 80 para verificar el cumplimiento de la puesta a tierra con la norma	
Resistencia de malla Rg:	Rg= 0,25 Ω
Corriente de Malla IG:	IG=1,96 kA
Incremento de potencial GPR:	GPR= 493,15 V (Incremento de potencial en la malla)
Voltaje de malla Em:	Em=55,86 V (Voltaje de la malla en falla)
Voltaje de paso Es:	Es=70,78 V
Resultado:	El Diseño cumple con la norma

Elaborado por: Guillermo Alejandro Rodríguez Morocho

4.2 Instalación de un nuevo sistema de protección contra rayos en el Bloque de Medicina Nuclear

La protección contra los rayos, uno de los fenómenos más destructivos, está formada por un terminal aéreo, un conductor y una puesta a tierra. Su función es interceptar las corrientes de las descargas eléctricas y conducirlas rápidamente a tierra [42]. Para proteger las estructuras contra la caída directa de rayos se selecciona un punto de impacto. Dicho punto tendrá un área de protección, denominada Ae. [43].

De la sección 2.2.1.2 se obtuvo un valor de $N_c=2 \cdot 10^{-3}$. Es decir, la protección contra rayos es necesaria, y se recomienda un pararrayos de marca Nimbus con radio de cobertura de 45 metros, suficiente para proteger al edificio de Longitud=36 m y Ancho=24 m, tal como se indica en la Figura 35.

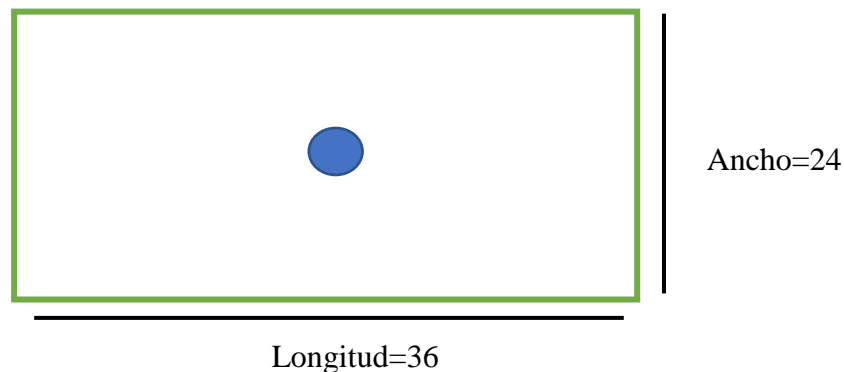


Figura 35. Vista superior de la ubicación del pararrayos en el bloque de Medicina Nuclear
Elaborado por: Guillermo Alejandro Rodríguez Morocho

En la Figura 36, se observa la ubicación de los pararrayos existentes en el HCAM, y la ubicación probable del pararrayos de Medicina Nuclear que se propone para proteger a los equipos existentes en dicho bloque y aumentar la confiabilidad, reduciendo el número de fallas por causa de rayos.

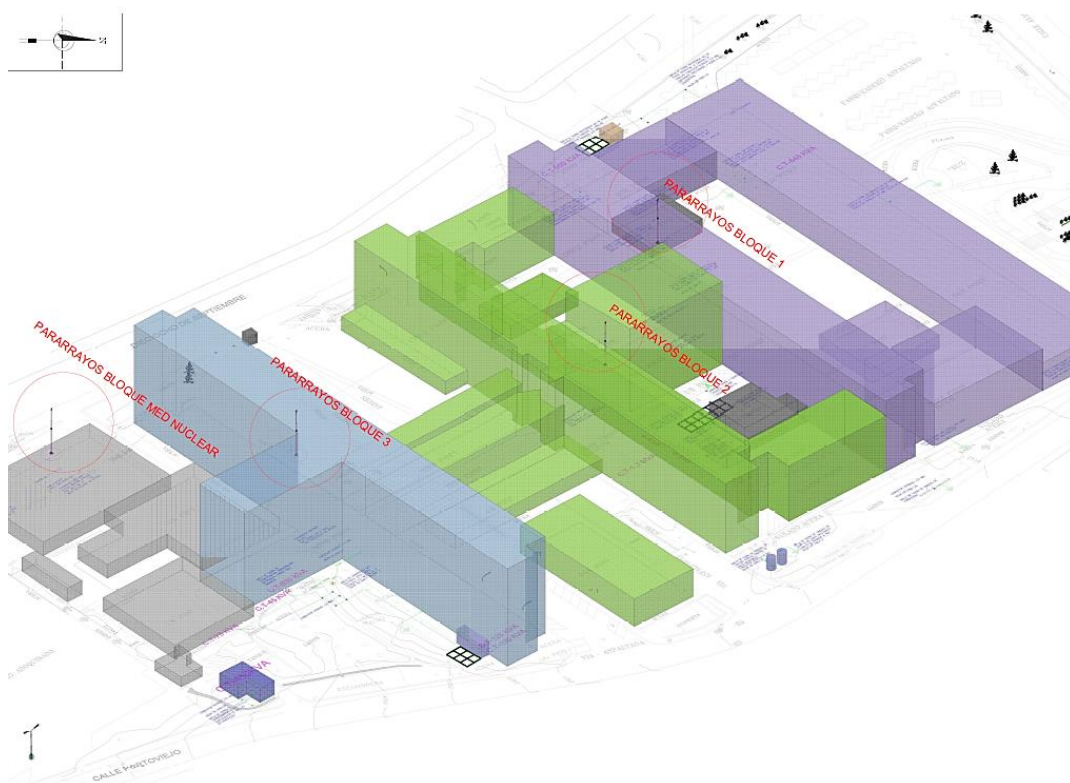


Figura 36. Esquema de los pararrayos existentes, y del propuesto para Medicina Nuclear
Elaborado por: Guillermo Alejandro Rodríguez Morocho

4.3 Reubicación de la carga del HCAM en tres cámaras de transformación

En esta sección se propone la remodelación, repotenciación y reubicación de los centros de transformación que se encuentran distribuidos en diferentes sectores del Hospital Carlos Andrade Marín. Para alcanzar este objetivo se propone la reubicar la carga en tres cámaras denominadas CT1, CT2 y CT3, además de la cámara existente de Medicina Nuclear. Es decir, se modificarán las cámaras de transformación de la Tabla 26, presentada en la sección 2.2.2. También se propone retirar los transformadores antiguos, previamente presentados en la Tabla 25. Además, sería necesario, según el caso, que los transformadores con nivel de voltaje de 6.3 kV se reemplacen por conmutables de 6.3 kV-22.8 kV, ya que mientras más alto sea voltaje, menores las pérdidas de corriente. Estas sugerencias se realizan de acuerdo con el año

de fabricación, al número de cortocircuitos que los transformadores que han sufrido, y en vistas de una posible remodelación de la red de distribución.

Tabla 48. Reubicación y retiro de transformadores

Acciones frente al estado actual de los transformadores				
Tareas	Cargas	Ubicación Actual	Potencia [kVA]	Año
Retiro TP-05	Bloque 01	Calle 18 de septiembre	500	1991
Retiro TP-02	TDP-P2-2 normal	Calle Portoviejo	630	1978
Retiro TP-17	Cargas Varias 1, iluminación, sistemas mecánicos	Bloque Central	650	1967
Retiro TP-18	Cargas Varias 2, iluminación, sistemas mecánicos	Bloque Central	650	1967
Retiro TP-11	Resonancia Tomografía	Calle 18 de septiembre	45	1994
Retiro TP-16	Rayos X y mamografía	Calle 18 de septiembre	250	1968
Reubicación TP-03	Angiografía	Va a CT1	100	2009
Reubicación TP-13	Tomografía	Va a CT2	75	2012
Reubicación TP-12	Resonancia Magnética	Va a CT2	75	2012
Reubicación TP-15	Rayos X	Va a CT2	200	2012
Reubicación TP-04	Flexavisión	Va a CT1	75	2009

Elaborado por: Guillermo Alejandro Rodríguez Morocho

En la Tabla 48 se muestran los transformadores que deberán ser reemplazados y retirados de manera urgente.

A continuación, se presenta la Tabla 49, en donde se puede encontrar la reagrupación propuesta en tres cámaras de transformación proyectadas. En el ANEXO 1 se presentan los cuadros para el cálculo de la demanda diversificada que justifican las potencias de cada transformador de la Tabla 49.

Con la carga propuesta se dispondría de una reserva de 200 kVA en la cámara CT1, de la Av. Universitaria y 18 de septiembre; y una reserva de 300 kVA en la cámara CT2 de la Calle 18 de septiembre y José Armero. Estas potencias serán útiles para instalaciones futuras considerando que la carga inicial instalada total que se indica en la Tabla 26 es de 4750 kVA. Con la potencia actual y la propuesta, de 4225 kVA, quedarían 525 kVA libres para cargas futuras.

Tabla 49. Nueva disposición de las cámaras de transformación

Nueva disposición de las cámaras de transformación						
Transformador	Tipo de carga	Bloque de servicio	Potencia proyectada (kVA)	Voltaje red primaria	Voltaje en bajo voltaje	Ubicación proyectada
TP-01	UPS	Bloque 3 CT3	450	6000/22800	220/217	CT1-18 de septiembre y Universitaria
TP-02	Servicios generales 3		250	6000/22800	220/127	
TP-03	Angiografía 01, angiografía 02		200	6000/22800	400	
TP-04	Flexavisión		75	6000/22800	400	
TP-05	Acelerador mono electrónico		75	6000/22800	400	
TP-06	Servicios generales 1	Medicina Nuclear	375	6000/22800	380	CT1- Existente- MEDICINA NUCLEAR
TP-07	Ciclotrón		125	6000/22800	210	
TP-08	Braquiterapia		250	6000/22800	400/231	
TP-09	Acelerador lineal		100	6000/22800	400	
TP-10	Servicios generales 2		200	6000/22800	220	
TP-11	Tomógrafo emergencia	Bloque 1 CT1	75	6000/22800	380/219	CT2-18 de septiembre y José Armero
TP-12	Resonancia magnética		75	6000/22800	400/231	
TP-13	Tomógrafo		75	6000/22800	400/231	
TP-14	Mamógrafo 01, mamógrafo 02		150	6000/22800	400/231	
TP-15	Rayos x		200	6000/22800	380/219	
TP-16	Tomógrafo, angiografía, Flexavisión		250	6000/22800	400/231	
TP-17	Cargas varias 1: iluminación, fuerza, sistemas mecánicos	Bloque 2 CT2	1000	6000/22800	220/127	CT3-18 de septiembre y José Armero
TP-18	Carga varias 2: iluminación, fuerza, sistemas mecánicos		300	6000/22800	220/127	

Total 4225

Elaborado por: Guillermo Alejandro Rodríguez Morocho

Los transformadores por instalar deberán ser trifásicos de frente muerto, sumergidos en aceite mineral, auto refrigerados; apropiados para instalaciones a la intemperie a 3,000 metros sobre el nivel del mar, con una temperatura ambiente de 30 °C y un sobrecalentamiento de 65° C. También deberán ser conmutables en medio voltaje de 6.3 kV a 22.8 kV.

La conexión del lado primario será en delta y la conexión en el secundario será en Y con tierra, con un vector de conexión DYn5 según IEC. Otra observación importante es que, en la configuración propuesta, la cámara de transformación existente de Medicina Nuclear se mantendrá y únicamente se cambiarán los transformadores por transformadores conmutables de 6.3 kV a 22.8 kV manteniendo las mismas potencias y voltajes de salida.

Por otro lado, las cámaras de transformación proyectadas deberán contener:

- Un cuarto de celdas de medio voltaje para transformadores
- Un cuarto de tableros de distribución principal.
- Un cuarto de Generación de emergencia de acuerdo con las necesidades de cada carga.

Con respecto a la medición futura, deberá ser indirecta, a través de celdas de medición con trafomix trifásico conmutable de 6.3KV -22.8KV.

La propuesta no podría estar completa sin el diseño de puesta a tierra, por lo que en la sección 4.6.1 se detallará su diseño.

4.3.1 Modelación en PowerFactory

En esta sección se modela el área de Medicina Nuclear, y la sección de los transformadores de 650 kVA (Bloque Central) que serán retirados y reemplazados por unos nuevos. En realidad, la cámara de transformación del área de Medicina Nuclear permanecerá sin cambios, debido a que ya se propuso dos soluciones en esa zona, referentes a la calidad de energía y pararrayos. Pero se verán mejoras en la cargabilidad de los transformadores del Bloque Central. Estos alimentan a cargas de iluminación, circuitos de fuerza y sistemas mecánicos. En la Figura 37, se puede ver la situación actual del HCAM antes del retiro de los transformadores TP-17 y TP-18.

Ambos transformadores son del año 1967, por lo que su retiro es urgente. Además, el transformador que alimenta las Cargas Varias 2 está subutilizado, debido a que el crecimiento de la demanda esperado fue sobredimensionado. Actualmente la carga que alimenta es de 0,11535 MVA, es decir ,115.35 kVA. En el caso del transformador que alimenta las Cargas Varias 1, está sobrecargado, y se propone la adquisición de un transformador de 1 MVA para reemplazarlo. Se estima que en unos 5 años la carga aumente a 0.7 MVA, por cuanto su cargabilidad permanecerá en 72% aproximadamente, según los resultados obtenidos en PowerFactory.

De hecho, también existen transformadores sobredimensionados en el área de Medicina Nuclear. Sin embargo, se ha reflexionado en los costoso que sería realizar la comprar de nuevos transformadores para disminuir su cargabilidad. En el caso de los transformadores de 1967, la adquisición es factible debido a que su han cumplido con un periodo de servicio de casi 53 años, y necesitan ser reemplazados.

En la Figura 38, se puede observar la cargabilidad mejorada con la adquisición de un transformador de 1 MVA para alimentar la carga estimada. Los resultados se resumen en la Tabla 50.

Tabla 50. Propuesta de mejora de transformadores del Bloque Central

Transformadores	Condiciones Actuales	Condiciones Futuras
TP-17 650 kVA	Potencia Nominal	
	0.650 MVA	1 MVA
	Carga C2- Barra C2_IV	
	0.61025 MVA	0.7 MVA
	Cargabilidad %	
	96.7	71.78
TP-18 650 kVA	Potencia Nominal	
	0.3 MVA	0.650 MVA
	Carga C1- Barra C1_IV	
	0.61025 MVA	0.7 MVA
	Cargabilidad %	
	18.44	51.28

Elaborado por: Guillermo Alejandro Rodríguez Morocho

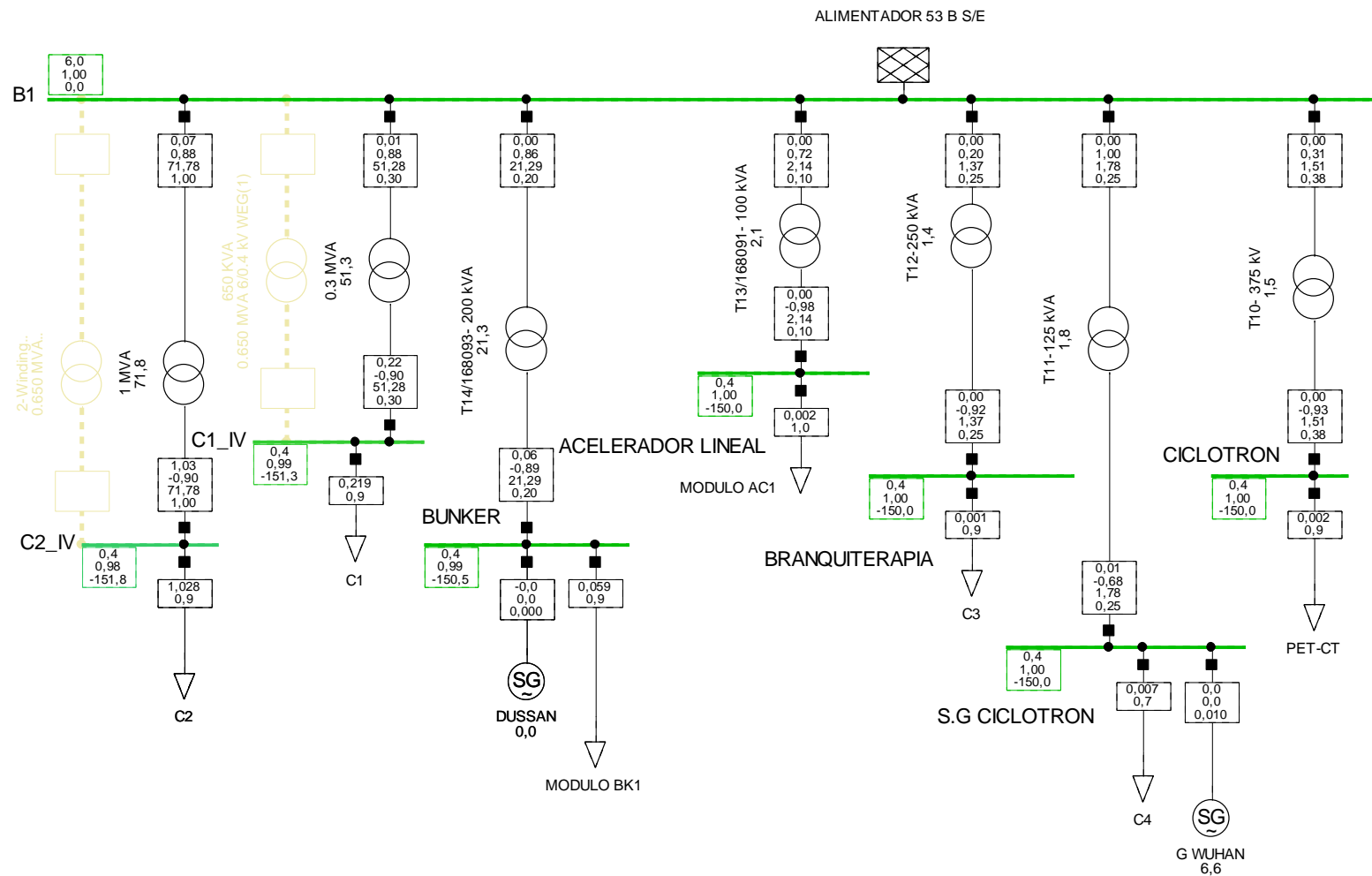


Figura 38. Situación futura del HCAM, con la propuesta de mejora de los transformadores del Bloque Central.
Elaborado por: Guillermo Alejandro Rodríguez Morocho

4.3.2 Malla de puesta a tierra de la cámara de transformación CT1 propuesta.

Se realizaron mediciones de resistividad del terreno en el sector en donde se propone la construcción de la cámara de transformación CT1, mediante el método de 4 puntas o Wenner, empleando un telurómetro FLUKE 1625 y se obtuvo el valor de resistividad que se muestra en la Figura 39:

$$\rho = 41.2 \, \Omega \cdot m$$



Figura 39. Resistividad obtenida con un medidor Fluke 1625.
Elaborado por: Guillermo Alejandro Rodríguez Morocho

Por lo cual se diseñó una malla de puesta a tierra con las características de la Tabla 51:

Tabla 51. Cálculo de Malla a Tierra

Parámetros de calculo	
Resistencia máxima de la malla (ohmios)	5
Resistividad del terreno (ohmios - metro)	41.2
Cable de cobre desnudo 19 hilos (AWG)	2/0
Varillas Copperweld de 1.8 m; 19 mm de diámetro	12
Súeldas exotérmicas	
Cálculo de la resistencia del conductor	
Ecuación de Laurent: $R_c = \left(\frac{\delta}{2d} + \frac{\delta}{l} \right)$	
Área de la malla de tierra (m^2)	66.00
Diámetro equivalente del círculo de igual superficie que la superficie de la malla propuesta	15.96
Longitud del conductor de cobre 2/0 AWG	60.00
R_c (ohmios)	3.17
Cálculo de la resistencia de cada varilla	
No se considera la acción de sales minerales ni otros aditivos químicos	
Ecuación de Schwartz: $R_v = \left(\frac{\delta}{2\pi l} \right) * \left[\ln\left(\frac{4l}{r}\right) - 1 \right]$	
Longitud del electrodo (m.)	1.80
Diámetro de la varilla (mm)	16.00
Radio de la varilla (m)	0.0080
R_v (ohmios)	33.86
Resistencia de las 9 varillas (ohmios)	3.76
Cálculo de la resistencia de malla de la cámara de seccionamiento	
Resistencia de la malla (ohmios):	
$\frac{1}{R_m} = \frac{1}{R_c} + \frac{1}{R_v}$	0.581450226
R_m (ohmios)	1.719837666

Elaborado por: Guillermo Alejandro Rodríguez Morocho

La malla de puesta a tierra se debe construir con conductor N.º 2/0 AWG, de cobre desnudo suave 9 hilos y 12 varillas Copperweld de 1.80 m. de longitud x 16 mm de diámetro. Las uniones se harán con suelda exotérmica, como se indica en la Figura 40. En donde los índices p y e indican propuesta y existente, respectivamente.

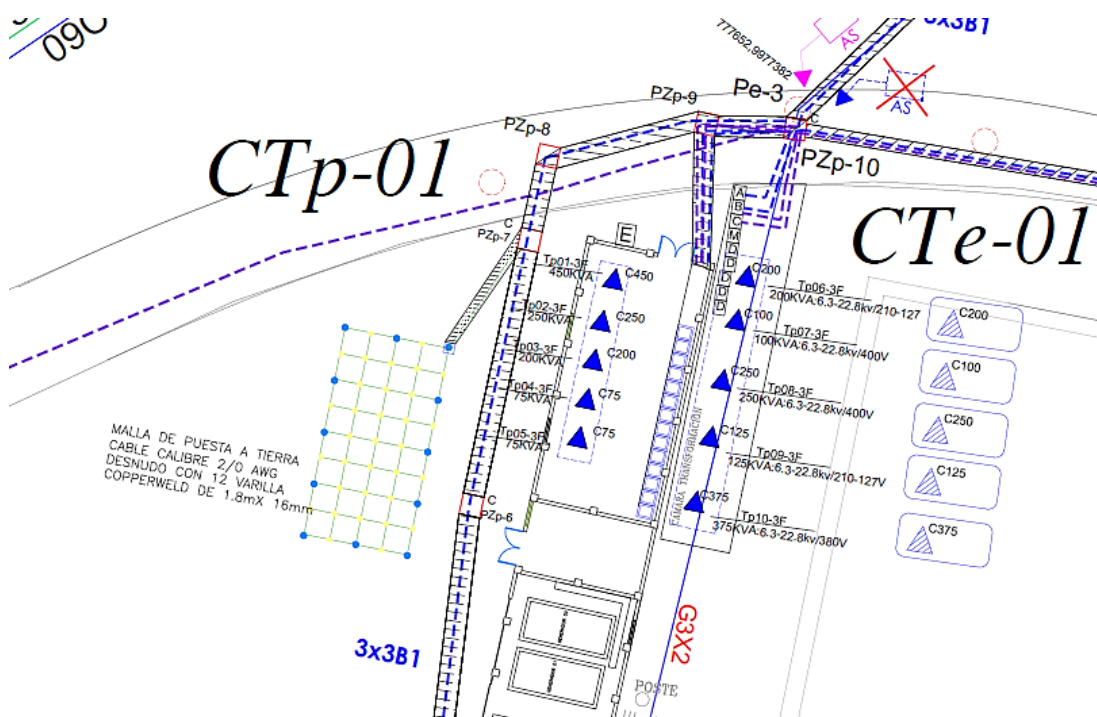


Figura 40. Malla de puesta a tierra de la cámara CT1 de transformación propuesta.
Elaborado por: Guillermo Alejandro Rodríguez Morocho

El cálculo de la malla de derivación a tierra se ha realizado partiendo de una resistividad del terreno de 41.2 Ohmios-metro y se ha obtenido valores inferiores a 3 Ohmios. Esta malla servirá de referencia para la construcción de las otras dos mallas de las cámaras de transformación CT2 y CT3.

4.4 UPS

En esta sección se propone la reubicación y mejora de varios de los UPS existentes con el fin de optimizar las condiciones de servicio. Antes de indicar las mejoras, se hace un breve repaso de los UPS que se encuentran instalados dentro del hospital en base a la sección 2.2.3 del levantamiento de los UPS del HCAM.

Los UPS de 120 kVA y 160 kVA, de las Figura 41, Figura 42 respectivamente, se ubican en el subsuelo del Bloque 2, en el pasillo oeste. El UPS de 100 kVA, de la Figura 43, se localiza en la planta baja del BLOQUE 3. Los tres distribuyen energía a

los tableros y tomacorrientes regulados de cada uno de los bloques principales del hospital. Estos sistemas de energía ininterrumpida son alimentados por la cámara de transformación de 450 kVA y a su vez del tablero de distribución principal, de donde se derivan las acometidas para cada uno de estos tres sistemas. Además, cuentan con un banco de baterías en paralelo que permite una autonomía de alrededor de 2 horas, tiempo en el cual se puede solventar cualquier imprevisto en el sistema de generación de emergencia.



Figura 41. UPS 120 KVA del subsuelo-Bloque 2
Tomada por: Guillermo Alejandro Rodríguez Morocho



Figura 42. UPS 160 kVA del subsuelo- Bloque 1
Tomada por: Guillermo Alejandro Rodríguez Morocho



Figura 43. UPS 100 kVA de la planta baja- Bloque 3
Tomada por: Guillermo Alejandro Rodríguez Morocho

El área de informática del piso uno, específicamente el Data center que forma parte del Bloque 2, cuenta con dos unidades de energía ininterrumpida. Estas se pueden observar en la Figura 44. El UPS de 10 kVA alimenta al PDU (unidad de distribución de energía), ubicado en el RACK de servidores. El UPS de 8 kVA alimenta a los racks que manejan la parte informática de acceso a la red. Pero ninguno posee banco de baterías externo.

Los UPS mencionados garantizan un periodo de funcionamiento de entre 20 y 40 minutos; su alimentación viene desde el tablero T6 ubicado en el bloque central cuarto de tableros del subsuelo. A su vez la alimentación se deriva del generador de 450 kVA Volvo.



Figura 44. UPS del Data Center; uno de 10 kVA a la izquierda, y otro de 8 kVA a la derecha

Para el piso 2, las áreas críticas son las de Recuperación Norte y Obstetricia Sur. En la primera existen 4 UPS de 12 kVA y en la segunda 1 UPS de 80 kVA. Estos se observan en Figura 45 y 46 respectivamente. No cuentan con respaldo de banco de baterías exterior.

En lo que corresponde a las unidades de energía ininterrumpida del área de Recuperación Norte, estas se alimentan de las barras del tablero que energizan al TDBU-2 del UPS de 160 kVA del Subsuelo Bloque 2. En la Tabla 52 se muestran las áreas a las que sirven los 4 UPS de 12 kVA mencionados, y en la Tabla 53 se detallan las áreas que sirve el UPS de 80 kVA.



Figura 45. Cuatro UPS de 12 kVA, Recuperación Norte
Tomada por: Guillermo Alejandro Rodríguez Morocho



Figura 46. UPS 80 kVA, Recuperación Norte
Elaborado por: Guillermo Alejandro Rodríguez Morocho

Tabla 52. Área de servicio UPS, Recuperación Norte

UPS	Área general	Áreas específicas
Ups 12 kVA (1)	Recuperación norte	Tdq2-1 - quirófano 9
Ups 12 kVA (2)	Recuperación norte	Tdq2-4 - quirófano 8
Ups 12 kVA (3)	Recuperación norte	Tdq2-7 - quirófano 7
Ups 12 kVA (4)	Recuperación norte	Red-UPS4 toma 220v- quirófano 3

Elaborado por: Guillermo Alejandro Rodríguez Morocho

Tabla 53. Área de servicio UPS, Recuperación Norte

UPS	Área general	Áreas específicas
Ups 80 kVA	Recuperación Norte	STU1-REC; TD2-11A- recuperación TDQ2-5A- quirófano

Elaborado por: Guillermo Alejandro Rodríguez Morocho

En el Área de Obstetricia Sur, se cuenta con otro UPS de 80 kVA con respaldo de banco de baterías exterior. Este puede verse en la Figura 47. El equipo se alimenta de las barras del tablero que energizan al TDBU-2 del UPS de 160 kVA del Subsuelo Bloque 2. En la Tabla 54 se detallan las áreas específicas a las que sirve.

**Figura 47.** UPS 80 KVA, Obstetricia Sur

Elaborado por: Guillermo Alejandro Rodríguez Morocho

Tabla 54. Área de servicio UPS, Obstetricia Sur

UPS	Área general	Áreas específicas
UPS 80 kVA	Obstetricia sur	TDQ2-21(quirófano 14 ginecología; sala de partos; quirófano 15 obstetricia; quirófano 16 obstetricia; quirófano 13 ginecología; quirófano 12 ginecología; lavado instrumental; quirófano 11; sala alto riesgo obstétrico; rayos x; quirófano 10)

Elaborado por: Guillermo Alejandro Rodríguez Morocho

En el piso 4, para el área UCI SUR, se cuenta con 2 UPS de 30 KVA que no tiene respaldo de banco de baterías exterior. Se alimenta de los interruptores TPE4-1D, y TPE4-1C del tablero T3 del subsuelo del Bloque 2. En la Figura 48 se muestra este UPS. El tablero T3 no cuenta con respaldo de generación, pero cuenta con el respaldo del generador Cumins de 156 kVA a través de una acometida paralela de emergencia que viene del tablero energizado de Quirófanos (TEQ) del Bloque 2. Ambos UPS se encuentran al 20% de su capacidad.



Figura 48. UPS 30 kVA – UCI SUR
Elaborado por: Guillermo Alejandro Rodríguez Morocho

Tabla 55. Área de servicio UPS- UCI Sur

UPS	Área general	Áreas específicas
UPS 30 kVA (1)	UCI Sur	STU4-1; TAT 1; TAT 2
UPS 30 kVA (2)	UCI Sur	STU4-2; TAT 3; TAT 4

Elaborada por: Guillermo Alejandro Rodríguez Morocho

En la Tabla 55 se detallan las áreas a las que sirven los UPS de 30 kVA del UCI SUR. De igual manera para el piso 5, UCI NORTE, se tienen 2 UPS de 30 KVA, tal como se ve en la Figura 49; sin respaldo de banco de baterías exterior. Se alimentan de los interruptores TPE-N y STU-2 del tablero TEQ del Subsuelo Bloque 2. En la Tabla 56 se indican las áreas específicas a las que sirven. Los UPS de estas áreas críticas se encuentran en óptimas condiciones de funcionamiento, y su carga instalada bordea el 20% de uso.



Figura 49. UPS 30 kVA- UCI Norte
Elaborado por: Guillermo Alejandro Rodríguez Morocho

Tabla 56. Área de servicio UPS- UCI Norte

UPS	Área general	Áreas específicas
UPS 30 kVA (1)	UCI Norte	STU4-3; TAT 5; TAT 6; TAT 7; TAT 8; TAT 9
UPS 30 kVA (2)	UCI Norte	TAT RX2

Elaborada por: Guillermo Alejandro Rodríguez Morocho

Como se indicó anteriormente, la propuesta en esta sección es reubicar, mantener, o mejorar los equipos instalados. Para ello se resumen las acciones recomendadas en la Tabla 57. Para la mejora se debería incorporar en cada uno de los UPS un módulo de monitoreo IP-Modbus. Esto permitirá que sea integrado a un Sistema de monitoreo continuo y en línea de los equipos.

Las acciones recomendadas en base al levantamiento son las siguientes:

- Ubicar en un solo cuarto o los UPS, de 160 y 120 KVA, con el propósito de destinar su operación exclusiva al Bloque 2.
- En el Bloque 3, aumentar la capacidad del UPS 100 KVA, adicionando otro de 60 KVA.
- Suplir las necesidades de energía regulada del Bloque 1 con un UPS de 80KVA.

Tabla 57. Acciones recomendadas para los UPS del Hospital Carlos Andrade Marín

Marca	Modulo a ser implementado	UPS	Bloque	Ubicación	Área de servicio	Acción por tomar
EATON 9390-160	1. Connect UPS' x web/SNMP x-slot card; 2. Modbus card; 3. Relay card	UPS 160 kVA	Bloque 2	Subsuelo	Bloque 2	Reubicar
		UPS 120 kVA	Bloque 2	Subsuelo	Bloque 2	Reubicar
	Modulo incorporado	UPS 80 kVA	Bloque 1	Piso dos	Bloque 1	Nuevo
FIRMESA	NA	UPS 30 kVA	Bloque 2	Piso uno	Bloque 2	Desmontar
EATON 9390-100	1. Connect UPS' x web/SNMP x-slot card; 2. Modbus card; 3. Relay card	UPS 100 kVA	Bloque 3	Planta baja	TDU Bloque 3	Mantener
	Modulo incorporado	UPS 60 kVA	Bloque 3	Planta baja	TDU Bloque 3	Nuevo
COMPUTER POWER/ULT-10K	NA	UPS 10 kVA	Bloque 2	Piso uno	Data Center	Desmontar
POWERWARE 9150 UPS	NA	UPS 8 kVA	Bloque 2	Piso uno	Data Center	Desmontar
EATON 9155-12	Modulo incorporado	UPS 10 kVA	Bloque 2	Piso uno	Rack Data Center	Nuevo
EATON 9390-80	1. Connect UPS' x web/SNMP x-slot card; 2. Modbus card; 3. Relay card	UPS 12 kVA	Bloque 2	Piso dos	Recuperación Norte	Mantener
			Bloque 2	Piso dos	Recuperación Norte	Mantener
			Bloque 2	Piso dos	Recuperación Norte	Mantener
			Bloque 2	Piso dos	Recuperación Norte	Mantener
		UPS 80 kVA	Bloque 2	Piso dos	Recuperación Norte	Mantener
		UPS 80 kVA	Bloque 2	Piso dos	Obstetricia Sur	Mantener
		UPS 30 kVA	Bloque 2	Piso cuatro	UCI Sur	Mantener
		Bloque 2	Piso cuatro	UCI Sur	Mantener	
		Bloque 2	Piso cinco	UCI Norte	Mantener	
		Bloque 2	Piso cinco	UCI Norte	Mantener	

Elaborado por: Guillermo Alejandro Rodríguez Morocho

4.5 TVSS

Los TVSS, por sus siglas en inglés (Transient Voltage Surge Suppressors), son dispositivos de protección para equipos electrónicos, contra sobrevoltajes transitorios. En español se denominan típicamente como SPV, o Supresores de Transitorios de Voltaje. La necesidad de estos elementos está justificada por la ocurrencia de una gran cantidad de sucesos repentinos, en los sistemas de distribución. Como ejemplo de dichos sucesos se tienen las desconexiones de equipos, caída de rayos, energización, etc. que dan cabida a transitorios muy dañinos. El costo de estos equipos es pequeño en comparación con la seguridad y efectividad que brindan frente a perturbaciones.

Los TVSS pueden construirse según el tipo de ambiente en el que se instalen. El estándar ANSI/IEEE C62.41 separa los ambientes de las instalaciones eléctricas según el nivel de exposición a transitorios en tres clases que se detallan a continuación, mismas que se grafican en la Figura 50:

- Clase C: equipo sujeto a transitorios de impulso generados por rayos, conmutación de la red eléctrica, fallas en el sistema, clima severo, o fallas en las instalaciones cercanas. Generalmente para zonas afuera del edificio.
- Clase B: zonas dentro del edificio, en los tableros principales, sujetas a una mezcla de transitorios provocados por una variedad de cargas como motores, controladores, PLC, y máquinas de rayos X o de tomografías en hospitales.
- Clase A: como los tableros de cada piso o receptáculos en las paredes de la instalación, que están sujetos a transitorios provocados por una variedad de cargas como equipo de oficina y comercial, o equipo de manufactura.

La protección con SPV es necesaria incluso si se cuenta con un UPS. Uno de los errores comunes es pensar que el UPS reemplaza al TVSS, pero esta es una afirmación que no se cumple en muchas ocasiones. Un UPS es una fuente de energía de reserva que actúa en caso de falla del suministro principal protegiendo sistemas, controladores de procesos y la pérdida de datos. A pesar de que el UPS incorpora supresores de clase A o B, estos son de baja energía y pueden proteger al UPS y su carga conectada por un número muy limitado de veces. Es por esta razón que solo el UPS no debe considerarse como una solución de protección contra transitorios.

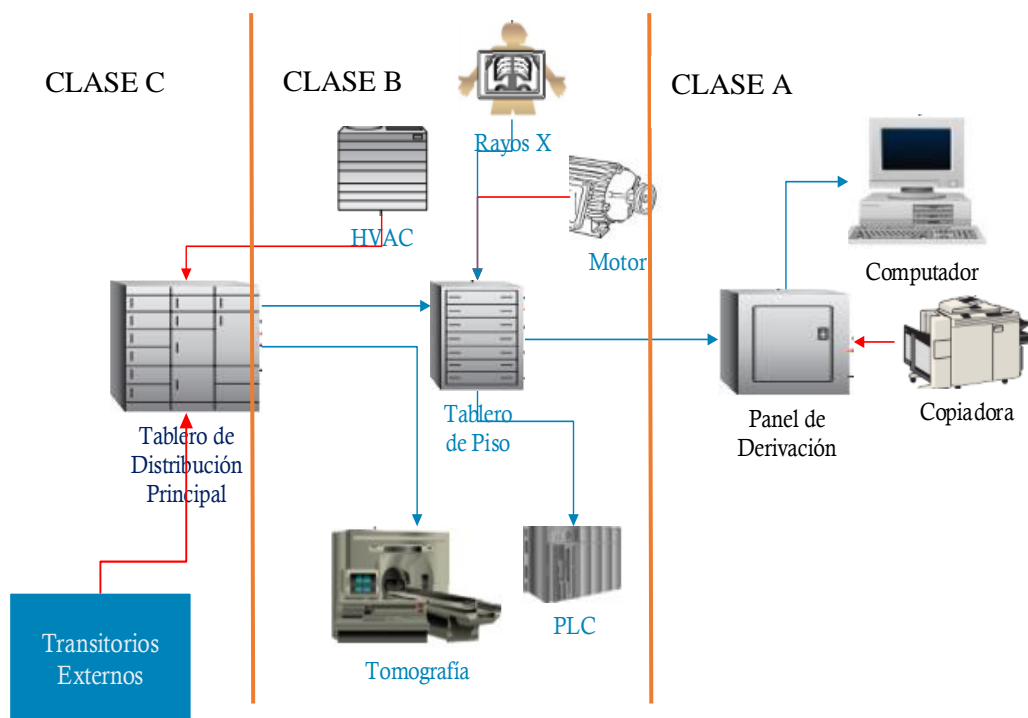


Figura 50. Clases de TVSS según la ubicación
Elaborado por: Guillermo Alejandro Rodríguez Morocho
Fuente: [44]

En [20] se habla sobre algunos aspectos relacionados con el uso de TVSS. Por ejemplo, se recomienda que en los tableros de distribución con interruptores eléctricos se instalen TVSS adicionales. Otra consideración es que, en la entrada de los UPS, como en los circuitos de derivación asociados, se instalen TVSS de categoría B.

Tomando en cuenta el Data Center del HCAM, un TVSS en la entrada de los UPS de 10 y 4 kV protegería al UPS y al equipo de computación conectado. Durante el mantenimiento o inactividad de los UPS, los TVSS filtrarían los transitorios de los computadores conectados evitando daños. En realidad, en el HCAM existe una gran cantidad de equipos y UPS que requieren la instalación de TVSS.

Con lo mencionado anteriormente se propone la instalación de Supresores de Transitorios de Voltaje en los tableros generales (TDP), para ubicaciones de clase B con corriente nominal de 200 kA, y en los tableros de piso (TP), para ubicaciones de clase A con corriente nominal de 150 kA; ambos con las siguientes especificaciones:

- Trifásicos de 4 hilos
- Montaje externo
- Modo de corte de voltaje fusionado

- Bidireccionales y de estado sólido
- Pantalla de diagnóstico
- Alarma con interruptor para habilitar o deshabilitar.
- Vida útil de mínimo 5000 impulsos
- Grado de protección IP- 67

4.6 Adquisición de un D-STATCOM

El D-STATCOM es un equipo que está conformado por tres dispositivos básicos: un inversor de voltaje, un capacitor en DC para almacenar energía y un transformador de acoplamiento. Generalmente estos dispositivos dan cabida a tres funcionamientos principales:

- Inversión DC-AC. - da origen a una onda de voltaje controlada en magnitud y ángulo para producir cualquiera de las corrientes reactivas, ya sea inductiva o capacitiva, dependiendo de la compensación deseada.
- Filtrado: la inductancia del transformador de acoplamiento, junto con la capacitancia del capacitor de carga, funcionan como un filtro LC, que permite reducir los armónicos en la salida del inversor.
- Control: con el bloque de control pueden controlar dispositivos externos como los interruptores mecánicos de los bancos de capacitores [39].

El problema del incremento de corriente en el neutro, en adición al bajo factor de potencia y el desbalance observado en los sistemas trifásicos de cuatro hilos, ocasionado principalmente por el desbalance de cargas, puede tratarse con D-STATCOMS de 4 hilos, que reducen la corriente del neutro, balancean la carga, dan compensación de potencia reactiva, o compensación armónica si se requiere. La operación del D-STATCOM se puede comparar con la de un alternador y puede proveer potencia reactiva. Por ejemplo, si la señal de voltaje a la salida del equipo es mayor que el voltaje de la red de suministro, entonces el D-STATCOM actuará como capacitor.

En realidad, los avances tecnológicos de los D-STATCOM se deben al desarrollo de dispositivos de estado sólido. En los años iniciales se usaban BJT, transistores de unión bipolar, y MOSFETS de potencia. Luego estos elementos fueron reemplazados por los SIT, tiristores estáticos inductivos y GTO. Sin embargo, con la introducción de los

IGBT la tecnología del D-STATCOM ha podido madurar. Al presente el IGBT es considerado el dispositivo de estado sólido ideal para el D-STATCOM [45].

La mejora tecnológica de sensores de corriente, de efecto hall, y sensores de voltaje, también han contribuido en la mejora. Incluso es posible implementar algoritmos complejos en línea para el control de DSTATCOMS a costos razonables. Inicialmente para compensar reactivos se proponía la instalación de bancos de capacitores. Sin embargo, aunque pueden compensar el flujo y regular el voltaje en los nodos de la red eléctrica, presentan varias desventajas en comparación con los D-STATCOM [38]:

- Mayores costos y pérdidas
- Mayor tamaño
- Sensibilidad al ruido
- Resonancia

La ubicación del D-STATCOM no debe ser aleatoria. De hecho, de este factor dependerá su eficiencia de operación. Por lo que varios autores proponen que la ubicación del equipo deberá instalarse en la rama que alimente el bus de voltaje más débil, o el más sensible en caso de contingencias [46]. En ese sentido, la carga que más incide en el desbalance de energía del área de medicina nuclear es el acelerador lineal. Es recomendable que la instalación se realice en el punto de acoplamiento común con la red de suministro para que se mejore la calidad de energía de todo el sistema tomado en consideración.

Para resumir, las aplicaciones del D-STATCOM incluyen:

- compensación de potencia reactiva
- regulación de voltaje
- compensación del desbalance de voltaje
- mitigación de sags de voltaje
- mitigación de flicker
- reducción de armónicos

La ubicación del D-STATCOM no solo beneficiará al área de Medicina Nuclear, sino a todo el sistema aledaño que se veía afectado por la energización del acelerador de

electrones, protegiendo a cargas sensibles de quirófanos, soportes vitales de los usuarios e incluso las bases de datos de los pacientes. Para finalizar con el estudio en la Tabla 58 se indican las ventajas y desventajas a manera de resumen de los UPS, TVSS y D-STATCOMS.

Tabla 58. Ventajas y desventajas de los UPS, TVSS y D-STATCOM

Equipo	Ventajas	Desventajas
UPS	Suministro de energía en caso de fallas. Comunicación con sistema SCADA. Aumento de la confiabilidad.	No se considera como solución frente a transitorios. No reduce los problemas de calidad de la energía eléctrica.
TVSS	Protección contra transitorios. Aumento de la confiabilidad.	Su única función es proteger contra transitorios, es decir, no ofrece otros beneficios de los UPS o D-STATCOM
D-STATCOM	Compensación de potencia reactiva Regulación de voltaje Compensación del desbalance de voltaje Mitigación de sags de voltaje Mitigación de flicker Reducción de armónicos No genera resonancia No es sensible al ruido Es decir, mejora la calidad de energía y la confiabilidad.	No protege contra transitorios tipo rayo u oscilatorios.

Elaborado por: Guillermo Alejandro Rodríguez Morocho

4.7 Análisis de Confiabilidad del área de Medicina Nuclear y el Bloque 2 del HCAM.

El análisis de confiabilidad parte de la situación actual y de la situación propuesta del área de Medicina Nuclear y del Bloque 2. El estudio y la propuesta de mejora fueron presentados en la sección 4.3, donde ambas condiciones se modelaron en PowerFactory. Por un lado, en la Figura 37, se mostró la condición actual con los transformadores del Bloque 2 envejecidos por el paso del tiempo. La propuesta consiste en cambiar estos transformadores por unos nuevos, con el fin de que mejore la confiabilidad, la calidad del servicio, e incluso de que se facilite su mantenimiento. En la Figura 38 se modeló esta nueva condición.

A partir de las Figuras 37 y 38, se realiza un estudio de confiabilidad con el método de zonas y ramas. El fin último de este método es obtener dos de los índices más importantes dentro de los estudios de confiabilidad, como son la tasa de fallas anual y

la duración de las fallas anuales. Una breve introducción de la metodología a utilizar fue presentada en la sección 1.5, del Capítulo I.

4.7.1 Determinación del diagrama de zonas y ramas.

Siguiendo la metodología mencionada, cuya teoría se explica con mayor profundidad en [30], se definen las zonas y ramas del sistema. De ahora en adelante al esquema de la Figura 37 se lo denominará diagrama del sistema base, mientras que al esquema de la Figura 38, diagrama del sistema mejorado. En la Figura 51 se muestran las zonas y ramas definidas para ambos sistemas. Es importante recalcar que no se agregan zonas de protección al sistema mejorado, debido a que no se añaden más equipos, sino que se únicamente se reemplazan los equipos antiguos por equipos nuevos, en la zona correspondiente.

De la Figura 51, se destaca lo siguiente:

La zona 1 corresponde a la zona que se encuentra tras el interruptor principal.

La zona 2 corresponde a los equipos: interruptor principal, la barra B1 y los interruptores de entrada a cada uno de los transformadores.

La zona 3 corresponde a los equipos: transformadores y sus interruptores en donde cada rama se corresponde con un transformador.

La zona 4 corresponde a los equipos: interruptores y barras, cada rama corresponde a una barra.

La zona 5 corresponde a los equipos: interruptor y carga, cada rama corresponde a su respectiva carga.

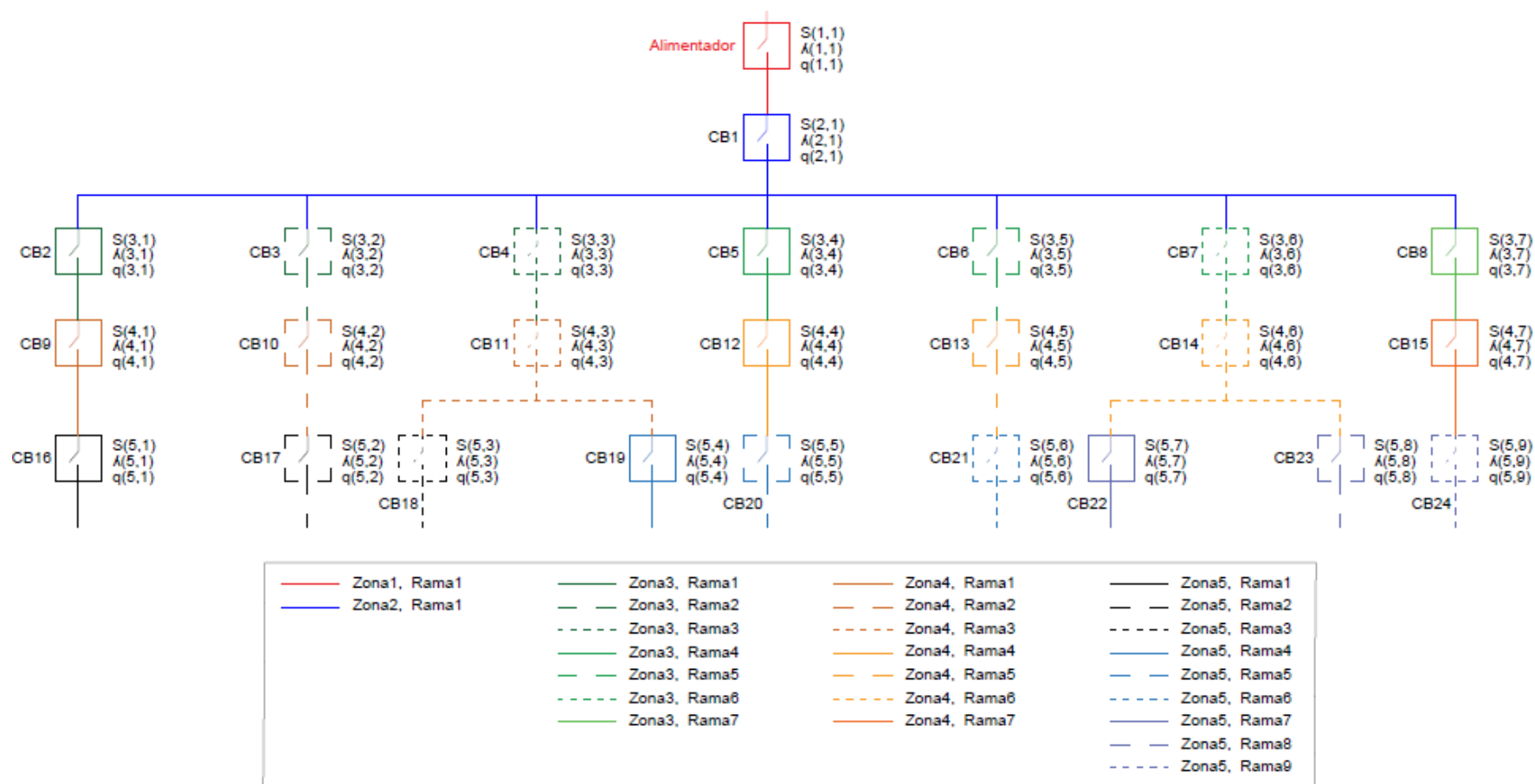


Figura 51. Diagrama de línea de Zonas y Ramas
Elaborado por: Guillermo Alejandro Rodríguez Morocho

Antes de continuar con el estudio de confiabilidad, se deben especificar las tasas de falla e índices de duración de fallas de los equipos de cada una de las zonas. Para ello, se toman como referencia los valores característicos de equipos similares, mismos que se toman del estándar IEEE Std 493-2007, del capítulo 10, tal como se muestra en la Tabla 59.

Tabla 59. Índices de falla equipos del sistema

Equipo	λ[fallas/año]	r[horas/falla]
Interruptores > 600[V]	$\lambda_{CB1} = 0.0176$	$r_{CB1} = 10.6$
Interruptores 0-600[V]	$\lambda_{CBn} = 0.0042$	$r_{CBn} = 4.7$
Transformadores < 10 [MVA] edad < 25años	$\lambda_{Tnuevo} = 0.0053$	$r_T = 79.3$
Transformadores < 10 [MVA] edad > 25años	$\lambda_{Tantiguo} = 0.0060$	$r_T = 79.3$
Protección de la barra >600[V]	$\lambda_{SGB1} = 0.001917$	$r_{SGB1} = 36$
Protección de la barra <600[V]	$\lambda_{CBn} = 0.000802$	$r_{CBn} = 27$
Alimentador EEQ	$\lambda_s = 2.7$	$r_s = 1.25$

Elaborado por: Guillermo Alejandro Rodríguez Morocho

4.7.2 Cálculos de confiabilidad

4.7.2.1 Tasa de falla

El primer paso es determinar la tasa de fallo de cada zona $\lambda(i,j)$ [fallas/año] que es igual a la suma de los equipos que interactúan en cada zona.

$$\lambda(1,1) = \lambda_s + 0.5\lambda_{CB1}$$

$$\lambda(2,1) = 0.5\lambda_{CB1} + \lambda_{SGB1} + 0.5(\lambda_{CB2} + \lambda_{CB3} + \lambda_{CB4} + \lambda_{CB5} + \lambda_{CB6} + \lambda_{CB7} + \lambda_{CB8})$$

$$\lambda(3,1) = 0.5\lambda_{CB2} + \lambda_{T1} + 0.5\lambda_{CB9}$$

$$\lambda(3,2) = 0.5\lambda_{CB3} + \lambda_{T2} + 0.5\lambda_{CB10}$$

$$\lambda(3,3) = 0.5\lambda_{CB4} + \lambda_{T3} + 0.5\lambda_{CB11}$$

$$\lambda(3,4) = 0.5\lambda_{CB5} + \lambda_{T4} + 0.5\lambda_{CB12}$$

$$\lambda(3,5) = 0.5\lambda_{CB6} + \lambda_{T5} + 0.5\lambda_{CB13}$$

$$\lambda(3,6) = 0.5\lambda_{CB7} + \lambda_{T6} + 0.5\lambda_{CB14}$$

$$\lambda(3,7) = 0.5\lambda_{CB8} + \lambda_{T7} + 0.5\lambda_{CB15}$$

$$\lambda(4,1) = 0.5\lambda_{CB9} + \lambda_{SGB1} + 0.5\lambda_{CB16}$$

$$\lambda(4,2) = 0.5\lambda_{CB10} + \lambda_{SGB2} + 0.5\lambda_{CB17}$$

$$\lambda(4,3) = 0.5\lambda_{CB11} + \lambda_{SGB3} + 0.5(\lambda_{CB18} + \lambda_{CB19})$$

$$\lambda(4,4) = 0.5\lambda_{CB12} + \lambda_{SGB4} + 0.5\lambda_{CB20}$$

$$\lambda(4,5) = 0.5\lambda_{CB13} + \lambda_{SGB5} + 0.5\lambda_{CB21}$$

$$\lambda(4,6) = 0.5\lambda_{CB14} + \lambda_{SGB6} + 0.5(\lambda_{CB22} + \lambda_{CB23})$$

$$\lambda(4,7) = 0.5\lambda_{CB15} + \lambda_{SGB7} + 0.5\lambda_{CB24}$$

$$\lambda(5,1) = 0.5\lambda_{CB16}$$

$$\lambda(5,2) = 0.5\lambda_{CB17}$$

$$\lambda(5,3) = 0.5\lambda_{CB18}$$

$$\lambda(5,4) = 0.5\lambda_{CB19}$$

$$\lambda(5,5) = 0.5\lambda_{CB20}$$

$$\lambda(5,6) = 0.5\lambda_{CB21}$$

$$\lambda(5,7) = 0.5\lambda_{CB22}$$

$$\lambda(5,8) = 0.5\lambda_{CB23}$$

$$\lambda(5,9) = 0.5\lambda_{CB24}$$

- El valor λ_{CBn} corresponde a todos los interruptores.
- El valor $\lambda_{Tantiguo}$ corresponde a todos los transformadores del sistema de potencia base. Para el caso del sistema mejorado se debe reemplazar $\lambda_{Tantiguo}$ por λ_{Tnuevo} únicamente en $\lambda(3,1)$ y $\lambda(3,2)$, que corresponden a la zona 3-rama 1 y zona 3-rama 2, es decir, la rama donde se realiza el cambio de transformadores.

4.7.2.2 Tasa de Desconexión Anual

Se determina la tasa de desconexión anual λ_r [horas/año] de cada zona:

$$\lambda_r(1,1) = \lambda_s r_s + 0.5\lambda_{CB1} r_{CB1}$$

$$\lambda_r(2,1) = 0.5\lambda_{CB1} r_{CB1} + \lambda_{SGB1} r_{SGB1} + 0.5(\lambda_{CB2} r_{CB2} + \lambda_{CB3} r_{CB3} + \lambda_{CB4} r_{CB4} + \lambda_{CB5} r_{CB5} + \lambda_{CB6} r_{CB6} + \lambda_{CB7} r_{CB7} + \lambda_{CB8} r_{CB8})$$

$$\lambda_r(3,1) = 0.5\lambda_{CB2} r_{CB2} + \lambda_{T1} r_{T1} + 0.5\lambda_{CB9} r_{CB9}$$

$$\lambda_r(3,2) = 0.5\lambda_{CB3} r_{CB3} + \lambda_{T2} r_{T2} + 0.5\lambda_{CB10} r_{CB10}$$

$$\lambda_r(3,3) = 0.5\lambda_{CB4} r_{CB4} + \lambda_{T3} r_{T3} + 0.5\lambda_{CB11} r_{CB11}$$

$$\lambda_r(3,4) = 0.5\lambda_{CB5} r_{CB5} + \lambda_{T4} r_{T4} + 0.5\lambda_{CB12} r_{CB12}$$

$$\begin{aligned}
\lambda_r(3,5) &= 0.5\lambda_{CB6}r_{CB5} + \lambda_{T5}r_5 + 0.5\lambda_{CB13}r_{CB13} \\
\lambda_r(3,6) &= 0.5\lambda_{CB7}r_{CB7} + \lambda_{T6}r_6 + 0.5\lambda_{CB14}r_{CB14} \\
\lambda_r(3,7) &= 0.5\lambda_{CB8}r_{CB8} + \lambda_{T7}r_7 + 0.5\lambda_{CB15}r_{CB15} \\
\lambda_r(4,1) &= 0.5\lambda_{CB9}r_{CB9} + \lambda_{SGB1}r_{SGB1} + 0.5\lambda_{CB16}r_{CB16} \\
\lambda_r(4,2) &= 0.5\lambda_{CB10}r_{CB10} + \lambda_{SGB2}r_{SGB2} + 0.5\lambda_{CB17}r_{CB17} \\
\lambda_r(4,3) &= 0.5\lambda_{CB11}r_{CB11} + \lambda_{SGB3}r_{SGB3} + 0.5(\lambda_{CB18}r_{CB18} + \lambda_{CB19}r_{CB19}) \\
\lambda_r(4,4) &= 0.5\lambda_{CB12}r_{CB12} + \lambda_{SGB4}r_{SGB4} + 0.5\lambda_{CB20}r_{CB20} \\
\lambda_r(4,5) &= 0.5\lambda_{CB13}r_{CB13} + \lambda_{SGB5}r_{SGB5} + 0.5\lambda_{CB21}r_{CB21} \\
\lambda_r(4,6) &= 0.5\lambda_{CB14}r_{CB14} + \lambda_{SGB6}r_{SGB6} + 0.5(\lambda_{CB22}r_{CB22} + \lambda_{CB23}r_{CB23}) \\
\lambda_r(4,7) &= 0.5\lambda_{CB15}r_{CB15} + \lambda_{SGB7}r_{SGB7} + 0.5\lambda_{CB24}r_{CB24} \\
\lambda_r(5,1) &= 0.5\lambda_{CB16}r_{CB16} \\
\lambda_r(5,2) &= 0.5\lambda_{CB17}r_{CB17} \\
\lambda_r(5,3) &= 0.5\lambda_{CB18}r_{CB18} \\
\lambda_r(5,4) &= 0.5\lambda_{CB19}r_{CB19} \\
\lambda_r(5,5) &= 0.5\lambda_{CB20}r_{CB20} \\
\lambda_r(5,6) &= 0.5\lambda_{CB21}r_{CB21} \\
\lambda_r(5,7) &= 0.5\lambda_{CB22}r_{CB22} \\
\lambda_r(5,8) &= 0.5\lambda_{CB23}r_{CB23} \\
\lambda_r(5,9) &= 0.5\lambda_{CB24}r_{CB24}
\end{aligned}$$

- El valor r_{CBn} corresponde a todos los interruptores.
- El valor r_T corresponde a todos los transformadores.

En la Tabla 60 se resumen los resultados obtenidos para el sistema actual, en la Tabla 61 para el sistema con mejoras.

Tabla 60. Matriz FZB del sistema base

Tasa de Fallas	
$\lambda(1,1)$	2.7088
$\lambda(2,1)$	0.157717
$\lambda(3,1)$	0.048
$\lambda(3,2)$	0.048
$\lambda(3,3)$	0.048
$\lambda(3,4)$	0.048
$\lambda(3,5)$	0.048
$\lambda(3,6)$	0.048
$\lambda(3,7)$	0.048
$\lambda(4,1)$	0.042802
$\lambda(4,2)$	0.042802
$\lambda(4,3)$	0.063802
$\lambda(4,4)$	0.042802
$\lambda(4,5)$	0.042802
$\lambda(4,6)$	0.063802
$\lambda(4,7)$	0.042802
$\lambda(5,1)$	0.021
$\lambda(5,2)$	0.021
$\lambda(5,3)$	0.021
$\lambda(5,4)$	0.021
$\lambda(5,5)$	0.021
$\lambda(5,6)$	0.021
$\lambda(5,7)$	0.021
$\lambda(5,8)$	0.021
$\lambda(5,9)$	0.021

Elaborado por: Guillermo Alejandro Rodríguez Morocho

Tabla 61. Matriz FBZ del sistema con mejoras

Tasa de Fallas	
$\lambda(1,1)$	2.7088
$\lambda(2,1)$	0.157717
$\lambda(3,1)$	0.0473
$\lambda(3,2)$	0.0473
$\lambda(3,3)$	0.048
$\lambda(3,4)$	0.048
$\lambda(3,5)$	0.048
$\lambda(3,6)$	0.048
$\lambda(3,7)$	0.048
$\lambda(4,1)$	0.042802
$\lambda(4,2)$	0.042802
$\lambda(4,3)$	0.063802
$\lambda(4,4)$	0.042802
$\lambda(4,5)$	0.042802
$\lambda(4,6)$	0.063802
$\lambda(4,7)$	0.042802
$\lambda(5,1)$	0.021
$\lambda(5,2)$	0.021
$\lambda(5,3)$	0.021
$\lambda(5,4)$	0.021
$\lambda(5,5)$	0.021
$\lambda(5,6)$	0.021
$\lambda(5,7)$	0.021
$\lambda(5,8)$	0.021
$\lambda(5,9)$	0.021

Elaborado por: Guillermo Alejandro Rodríguez Morocho

Como se puede observar los índices $\lambda(3,1)$ y $\lambda(3,2)$ son los que mejoran debido al reemplazo de los transformadores.

4.7.2.3 Matriz $r(z, k)$

Esta matriz representa el tiempo de duración por falla de cada zona. La matriz r es igual para ambos sistemas. Para calcular los índices $r[\text{horas/falla}]$ de cada zona se utiliza la Ecuación 18, obtenida de [30]:

$$r(j, i) = \frac{\lambda_r(j, i)}{\lambda(j, i)} \quad (18)$$

La Matriz final se muestra en la Tabla 62.

Tabla 62. Matriz $r(z, k)$

Índice[horas/falla]	
r(1,1)	1.28
r(2,1)	5.41
r(3,1)	14.23
r(3,2)	14.23
r(3,3)	14.23
r(3,4)	14.03
r(3,5)	14.03
r(3,6)	14.03
r(3,7)	5.12
r(4,1)	5.12
r(4,2)	4.98
r(3,4)	14.03
r(4,3)	5.12
r(4,4)	5.12
r(4,5)	4.98
r(4,6)	5.12
r(4,7)	4.7
r(5,1)	4.7
r(5,2)	4.7
r(5,3)	4.7
r(5,4)	4.7
r(5,5)	4.7
r(5,6)	4.7
r(5,7)	4.70
r(5,8)	4.70
r(5,9)	4.70

Elaborado por: Guillermo Alejandro Rodríguez Morocho

4.7.2.4 Matriz RIA

Se asume que los interruptores son ideales por lo que el índice de probabilidad de que un interruptor no opere para despejar una falla, $q(i, j)$, será igual a cero. La matriz resultante es la misma para los sistemas actual y con mejoras. La matriz final es de un tamaño tan extenso que ha debido subdividirse desde la Tabla 63 hasta la Tabla 68. Luego de realizar las operaciones matemáticas requeridas, se obtiene la Tabla 69, o Matriz RIA final.

Tabla 63. Matriz RIA: Zonas 1 a 11; Ramas: 1 a 12.

z/k	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1	q(2,1)	q(3,1)· q(2,1)	q(3,2)· q(2,1)	q(3,3)· q(2,1)	q(3,4)· q(2,1)	q(3,5)· q(2,1)	q(3,6)· q(2,1)	q(3,7)· q(2,1)	q(4,1)· q(3,1)· q(2,1)	q(4,2)· q(3,2)· q(2,1)	q(4,3)· q(3,3)· q(2,1)
2	1	1	q(3,1)	q(3,2)	q(3,3)	q(3,4)	q(3,5)	q(3,6)	q(3,7)	q(4,1)· q(3,1)	q(4,2)· q(3,2)	q(4,3)· q(3,3)
3	1	1	1	q(3,2)	q(3,3)	q(3,4)	q(3,5)	q(3,6)	q(3,7)	q(4,1)	q(4,2)· q(3,2)	q(4,3)· q(3,3)
4	1	1	q(3,1)	1	q(3,3)	q(3,4)	q(3,5)	q(3,6)	q(3,7)	q(4,1)· q(3,1)	q(4,2)	q(4,3)· q(3,3)
5	1	1	q(3,1)	q(3,2)	1	q(3,4)	q(3,5)	q(3,6)	q(3,7)	q(4,1)· q(3,1)	q(4,2)· q(3,2)	q(4,3)
6	1	1	q(3,1)	q(3,2)	q(3,3)	1	q(3,5)	q(3,6)	q(3,7)	q(4,1)· q(3,1)	q(4,2)· q(3,2)	q(4,3)· q(3,3)
7	1	1	q(3,1)	q(3,2)	q(3,3)	q(3,4)	1	q(3,6)	q(3,7)	q(4,1)· q(3,1)	q(4,2)· q(3,2)	q(4,3)· q(3,3)
8	1	1	q(3,1)	q(3,2)	q(3,3)	q(3,4)	q(3,5)	1	q(3,7)	q(4,1)· q(3,1)	q(4,2)· q(3,2)	q(4,3)· q(3,3)
9	1	1	q(3,1)	q(3,2)	q(3,3)	q(3,4)	q(3,5)	q(3,6)	1	q(4,1)· q(3,1)	q(4,2)· q(3,2)	q(4,3)· q(3,3)
10	1	1	1	q(3,2)	q(3,3)	q(3,4)	q(3,5)	q(3,6)	q(3,7)	1	q(4,2)· q(3,2)	q(4,3)· q(3,3)
11	1	1	q(3,1)	1	q(3,3)	q(3,4)	q(3,5)	q(3,6)	q(3,7)	q(4,1)· q(3,1)	1	q(4,3)· q(3,3)

Elaborado por: Guillermo Alejandro Rodríguez Morocho

Tabla 64. Matriz RIA: Zonas 12 a 25; Ramas: 1 a 12.

z/k	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
12	q(4,4)· q(3,4)	q(4,5)· q(3,5)	q(4,6)· q(3,6)	q(4,7)· q(3,7)	q(5,1)· q(4,1)· q(3,1)	q(5,2)· q(4,2)· q(3,2)	q(5,3)	q(5,4)	q(5,5)· q(4,4)· q(3,4)·	q(5,6)· q(4,5)· q(3,5)·	q(5,7)· q(4,6)· q(3,6)·	q(5,8)· q(4,6)· q(3,6)·
13	1	1	q(3,1)	q(3,2)	q(3,3)	1	q(3,5)	q(3,6)	q(3,7)	q(4,1)· q(3,1)	q(4,2)· q(3,2)	q(4,3)· q(3,3)
14	1	1	q(3,1)	q(3,2)	q(3,3)	q(3,4)	1	q(3,6)	q(3,7)	q(4,1)· q(3,1)	q(4,2)· q(3,2)	q(4,3)· q(3,3)
15	1	1	q(3,1)	q(3,2)	q(3,3)	q(3,4)	q(3,5)	1	q(3,7)	q(4,1)· q(3,1)	q(4,2)· q(3,2)	q(4,3)· q(3,3)
16	1	1	q(3,1)	q(3,2)	q(3,3)	q(3,4)	q(3,5)	q(3,6)	1	q(4,1)· q(3,1)	q(4,2)· q(3,2)	q(4,3)· q(3,3)
17	1	1	1	q(3,2)	q(3,3)	q(3,4)	q(3,5)	q(3,6)	q(3,7)	1	q(4,2)· q(3,2)	q(4,3)· q(3,3)
18	1	1	q(3,1)	1	q(3,3)	q(3,4)	q(3,5)	q(3,6)	q(3,7)	q(4,1)· q(3,1)	1	q(4,3)· q(3,3)
19	1	1	q(3,1)	q(3,2)	1	q(3,4)	q(3,5)	q(3,6)	q(3,7)	q(4,1)· q(3,1)	q(4,2)· q(3,2)	1
20	1	1	q(3,1)	q(3,2)	1	q(3,4)	q(3,5)	q(3,6)	q(3,7)	q(4,1)· q(3,1)	q(4,2)· q(3,2)	1
21	1	1	q(3,1)	q(3,2)	q(3,3)	1	q(3,5)	q(3,6)	q(3,7)	q(4,1)· q(3,1)	q(4,2)· q(3,2)	q(4,3)· q(3,3)
22	1	1	q(3,1)	q(3,2)	q(3,3)	q(3,4)	1	q(3,6)	q(3,7)	q(4,1)· q(3,1)	q(4,2)· q(3,2)	q(4,3)· q(3,3)
23	1	1	q(3,1)	q(3,2)	q(3,3)	q(3,4)	q(3,5)	1	q(3,7)	q(4,1)· q(3,1)	q(4,2)· q(3,2)	q(4,3)· q(3,3)
24	1	1	q(3,1)	q(3,2)	q(3,3)	q(3,4)	q(3,5)	1	q(3,7)	q(4,1)· q(3,1)	q(4,2)· q(3,2)	q(4,3)· q(3,3)
25	1	1	q(3,1)	q(3,2)	q(3,3)	q(3,4)	q(3,5)	q(3,6)	1	q(4,1)· q(3,1)	q(4,2)· q(3,2)	q(4,3)· q(3,3)

Elaborado por: Guillermo Alejandro Rodríguez Morocho

Tabla 65. Matriz RIA: Zonas 1 a 5; Ramas: 13 a 25.

z/k	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
1	q(4,4)·	q(4,5)·	q(4,6)·	q(4,7)·	q(5,1)·	q(5,2)·	q(5,3)·	q(5,4)·	q(5,5)·	q(5,6)·	q(5,7)·	q(5,8)·	q(5,9)·
	q(3,4)·	q(3,5)·	q(3,6)·	q(3,7)·	q(4,1)·	q(4,2)·	q(4,3)·	q(4,3)·	q(4,4)·	q(4,5)·	q(4,6)·	q(4,6)·	q(4,7)·
	q(2,1)	q(2,1)	q(2,1)	q(2,1)	q(3,1)·	q(3,2)·	q(3,3)·	q(3,3)·	q(3,4)·	q(3,5)·	q(3,6)·	q(3,6)·	q(3,7)·
2	q(4,4)·	q(4,5)·	q(4,6)·	q(4,7)·	q(5,1)·	q(5,2)·	q(5,3)·	q(5,4)·	q(5,5)·	q(5,6)·	q(5,7)·	q(5,8)·	q(5,9)·
	q(3,4)	q(3,5)	q(3,6)	q(3,7)	q(4,1)·	q(4,2)·	q(4,3)·	q(4,3)·	q(4,4)·	q(4,5)·	q(4,6)·	q(4,6)·	q(4,7)·
					q(3,1)	q(3,2)	q(3,3)	q(3,3)·	q(3,4)·	q(3,5)·	q(3,6)·	q(3,6)·	q(3,7)·
3	q(4,4)·	q(4,5)·	q(4,6)·	q(4,7)·	q(5,1)·	q(5,2)·	q(5,3)·	q(5,4)·	q(5,5)·	q(5,6)·	q(5,7)·	q(5,8)·	q(5,9)·
	q(3,4)	q(3,5)	q(3,6)	q(3,7)	q(4,1)	q(4,2)	q(4,3)·	q(4,3)·	q(4,4)·	q(4,5)·	q(4,6)·	q(4,6)·	q(4,7)·
							q(3,3)	q(3,3)·	q(3,4)·	q(3,5)·	q(3,6)·	q(3,6)·	q(3,7)·
4	q(4,4)·	q(4,5)·	q(4,6)·	q(4,7)·	q(5,1)·	q(5,2)·	q(5,3)·	q(5,4)·	q(5,5)·	q(5,6)·	q(5,7)·	q(5,8)·	q(5,9)·
	q(3,4)	q(3,5)	q(3,6)	q(3,7)	q(4,1)·	q(4,2)	q(4,3)·	q(4,3)·	q(4,4)·	q(4,5)·	q(4,6)·	q(4,6)·	q(4,7)·
					q(3,1)		q(3,3)	q(3,3)·	q(3,4)·	q(3,5)·	q(3,6)·	q(3,6)·	q(3,7)·
5	q(4,4)·	q(4,5)·	q(4,6)·	q(4,7)·	q(5,1)·	q(5,2)·	q(5,3)·	q(5,4)·	q(5,5)·	q(5,6)·	q(5,7)·	q(5,8)·	q(5,9)·
	q(3,4)	q(3,5)	q(3,6)	q(3,7)	q(4,1)·	q(4,2)·	q(4,3)	q(4,3)	q(4,4)·	q(4,5)·	q(4,6)·	q(4,6)·	q(4,7)·
					q(3,1)	q(3,2)			q(3,4)·	q(3,5)·	q(3,6)·	q(3,6)·	q(3,7)·

Elaborado por: Guillermo Alejandro Rodríguez Morocho

Tabla 66. Matriz RIA: Zonas 6 a 11; Ramas: 13 a 25.

z/k	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
6	q(4,4)	q(4,5)· q(3,5)	q(4,6)· q(3,6)	q(4,7)· q(3,7)	q(5,1)· q(4,1)· q(3,1)	q(5,2)· q(4,2)· q(3,2)	q(5,3)· q(4,3)· q(3,3)	q(5,4)· q(4,3)· q(3,3)	q(5,5)· q(4,4)· q(3,5)	q(5,6)· q(4,5)· q(3,6)	q(5,7)· q(4,6)· q(3,6)	q(5,8)· q(4,6)· q(3,6)	q(5,9)· q(4,7)· q(3,7)
7	q(4,4)· q(3,4)	q(4,5)	q(4,6)· q(3,6)	q(4,7)· q(3,7)	q(5,1)· q(4,1)· q(3,1)	q(5,2)· q(4,2)· q(3,2)	q(5,3)· q(4,3)· q(3,3)	q(5,4)· q(4,3)· q(3,3)	q(5,5)· q(4,4)· q(3,4)	q(5,6)· q(4,5)· q(3,6)	q(5,7)· q(4,6)· q(3,6)	q(5,8)· q(4,6)· q(3,6)	q(5,9)· q(4,7)· q(3,7)
8	q(4,4)· q(3,4)	q(4,5)· q(3,5)	q(4,6)	q(4,7)· q(3,7)	q(5,1)· q(4,1)· q(3,1)	q(5,2)· q(4,2)· q(3,2)	q(5,3)· q(4,3)· q(3,3)	q(5,4)· q(4,3)· q(3,3)	q(5,5)· q(4,4)· q(3,4)	q(5,6)· q(4,5)· q(3,5)	q(5,7)· q(4,6)· q(3,6)	q(5,8)· q(4,6)· q(3,6)	q(5,9)· q(4,7)· q(3,7)
9	q(4,4)· q(3,4)	q(4,5)· q(3,5)	q(4,6)· q(3,6)	q(4,7)	q(5,1)· q(4,1)· q(3,1)	q(5,2)· q(4,2)· q(3,2)	q(5,3)· q(4,3)· q(3,3)	q(5,4)· q(4,3)· q(3,3)	q(5,5)· q(4,4)· q(3,4)	q(5,6)· q(4,5)· q(3,5)	q(5,7)· q(4,6)· q(3,6)	q(5,8)· q(4,6)· q(3,6)	q(5,9)· q(4,7)· q(3,7)
10	q(4,4)· q(3,4)	q(4,5)· q(3,5)	q(4,6)· q(3,6)	q(4,7)· q(3,7)	q(5,1)	q(5,2)· q(4,2)· q(3,2)	q(5,3)· q(4,3)· q(3,3)	q(5,4)· q(4,3)· q(3,3)	q(5,5)· q(4,4)· q(3,4)	q(5,6)· q(4,5)· q(3,5)	q(5,7)· q(4,6)· q(3,6)	q(5,8)· q(4,6)· q(3,6)	q(5,9)· q(4,7)· q(3,7)
11	q(4,4)· q(3,4)	q(4,5)· q(3,5)	q(4,6)· q(3,6)	q(4,7)· q(3,7)	q(5,1)· q(4,1)· q(3,1)	q(5,2)	q(5,3)· q(4,3)· q(3,3)	q(5,4)· q(4,3)· q(3,3)	q(5,5)· q(4,4)· q(3,4)	q(5,6)· q(4,5)· q(3,5)	q(5,7)· q(4,6)· q(3,6)	q(5,8)· q(4,6)· q(3,6)	q(5,9)· q(4,7)· q(3,7)

Elaborado por: Guillermo Alejandro Rodríguez Morocho

Tabla 67. Matriz RIA: Zonas 12 a 18; Ramas: 13 a 25.

z/k	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
12	q(4,4)· q(3,4)	q(4,5)· q(3,5)	q(4,6)· q(3,6)	q(4,7)· q(3,7)	q(5,1)· q(4,1)· q(3,1)	q(5,2)· q(4,2)· q(3,2)	q(5,3)	q(5,4)	q(5,5)· q(4,4)· q(3,4)·	q(5,6)· q(4,5)· q(3,5)·	q(5,7)· q(4,6)· q(3,6)·	q(5,8)· q(4,6)· q(3,6)·	q(5,9)· q(4,7)· q(3,7)·
13	1	q(4,5)· q(3,5)	q(4,6)· q(3,6)	q(4,7)· q(3,7)	q(5,1)· q(4,1)· q(3,1)	q(5,2)· q(4,2)· q(3,2)	q(5,3)· q(4,3)· q(3,3)	q(5,4)· q(4,3)· q(3,3)	q(5,5)	q(5,6)· q(4,5)· q(3,5)·	q(5,7)· q(4,6)· q(3,6)·	q(5,8)· q(4,6)· q(3,6)·	q(5,9)· q(4,7)· q(3,7)·
14	q(4,4)· q(3,4)	1	q(4,6)· q(3,6)	q(4,7)· q(3,7)	q(5,1)· q(4,1)· q(3,1)	q(5,2)· q(4,2)· q(3,2)	q(5,3)· q(4,3)· q(3,3)	q(5,4)· q(4,3)· q(3,3)	q(5,5)· q(4,4)· q(3,4)·	q(5,6)	q(5,7)· q(4,6)· q(3,6)·	q(5,8)· q(4,6)· q(3,6)·	q(5,9)· q(4,7)· q(3,7)·
15	q(4,4)· q(3,4)	q(4,5)· q(3,5)	1	q(4,7)· q(3,7)	q(5,1)· q(4,1)· q(3,1)	q(5,2)· q(4,2)· q(3,2)	q(5,3)· q(4,3)· q(3,3)	q(5,4)· q(4,3)· q(3,3)	q(5,5)· q(4,4)· q(3,4)·	q(5,6)· q(4,5)· q(3,5)·	q(5,7)	q(5,8)	q(5,9)· q(4,7)· q(3,7)·
16	q(4,4)· q(3,4)	q(4,5)· q(3,5)	q(4,6)· q(3,6)	1	q(5,1)· q(4,1)· q(3,1)	q(5,2)· q(4,2)· q(3,2)	q(5,3)· q(4,3)· q(3,3)	q(5,4)· q(4,3)· q(3,3)	q(5,5)· q(4,4)· q(3,4)·	q(5,6)· q(4,5)· q(3,5)·	q(5,7)· q(4,6)· q(3,6)·	q(5,8)· q(4,6)· q(3,6)·	q(5,9)
17	q(4,4)· q(3,4)	q(4,5)· q(3,5)	q(4,6)· q(3,6)	q(4,7)· q(3,7)	1	q(5,2)· q(4,2)· q(3,2)	q(5,3)· q(4,3)· q(3,3)	q(5,4)· q(4,3)· q(3,3)	q(5,5)· q(4,4)· q(3,4)·	q(5,6)· q(4,5)· q(3,5)·	q(5,7)· q(4,6)· q(3,6)·	q(5,8)· q(4,6)· q(3,6)·	q(5,9)· q(4,7)· q(3,7)·
18	q(4,4)· q(3,4)	q(4,5)· q(3,5)	q(4,6)· q(3,6)	q(4,7)· q(3,7)	q(5,1)· q(4,1)· q(3,1)	1	q(5,3)· q(4,3)· q(3,3)	q(5,4)· q(4,3)· q(3,3)	q(5,5)· q(4,4)· q(3,4)·	q(5,6)· q(4,5)· q(3,5)·	q(5,7)· q(4,6)· q(3,6)·	q(5,8)· q(4,6)· q(3,6)·	q(5,9)· q(4,7)· q(3,7)·

Elaborado por: Guillermo Alejandro Rodríguez Morochó

Tabla 68. Matriz RIA: Zonas 19 a 25; Ramas: 13 a 25

z/k	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
19	q(4,4)· q(3,4)	q(4,5)· q(3,5)	q(4,6)· q(3,6)	q(4,7)· q(3,7)	q(5,1)· q(4,1)· q(3,1)	q(5,2)· q(4,2)· q(3,2)	1	q(5,4)	q(5,5)· q(4,4)· q(3,4)·	q(5,6)· q(4,5)· q(3,5)·	q(5,7)· q(4,6)· q(3,6)·	q(5,8)· q(4,6)· q(3,6)·	q(5,9)· q(4,7)· q(3,7)·
20	q(4,4)· q(3,4)	q(4,5)· q(3,5)	q(4,6)· q(3,6)	q(4,7)· q(3,7)	q(5,1)· q(4,1)· q(3,1)	q(5,2)· q(4,2)· q(3,2)	q(5,3)	1	q(5,5)· q(4,4)· q(3,4)·	q(5,6)· q(4,5)· q(3,5)·	q(5,7)· q(4,6)· q(3,6)·	q(5,8)· q(4,6)· q(3,6)·	q(5,9)· q(4,7)· q(3,7)·
21	1	q(4,5)· q(3,5)	q(4,6)· q(3,6)	q(4,7)· q(3,7)	q(5,1)· q(4,1)· q(3,1)	q(5,2)· q(4,2)· q(3,2)	q(5,3)· q(4,3)· q(3,3)	q(5,4)· q(4,3)· q(3,3)	1	q(5,6)· q(4,5)· q(3,5)·	q(5,7)· q(4,6)· q(3,6)·	q(5,8)· q(4,6)· q(3,6)·	q(5,9)· q(4,7)· q(3,7)·
22	q(4,4)· q(3,4)	1	q(4,6)· q(3,6)	q(4,7)· q(3,7)	q(5,1)· q(4,1)· q(3,1)	q(5,2)· q(4,2)· q(3,2)	q(5,3)· q(4,3)· q(3,3)	q(5,4)· q(4,3)· q(3,3)	q(5,5)· q(4,4)· q(3,4)·	1	q(5,7)· q(4,6)· q(3,6)·	q(5,8)· q(4,6)· q(3,6)·	q(5,9)· q(4,7)· q(3,7)·
23	q(4,4)· q(3,4)	q(4,5)· q(3,5)	1	q(4,7)· q(3,7)	q(5,1)· q(4,1)· q(3,1)	q(5,2)· q(4,2)· q(3,2)	q(5,3)· q(4,3)· q(3,3)	q(5,4)· q(4,3)· q(3,3)	q(5,5)· q(4,4)· q(3,4)·	q(5,6)· q(4,5)· q(3,5)·	1	q(5,8)	q(5,9)· q(4,7)· q(3,7)·
24	q(4,4)· q(3,4)	q(4,5)· q(3,5)	1	q(4,7)· q(3,7)	q(5,1)· q(4,1)· q(3,1)	q(5,2)· q(4,2)· q(3,2)	q(5,3)· q(4,3)· q(3,3)	q(5,4)· q(4,3)· q(3,3)	q(5,5)· q(4,4)· q(3,4)·	q(5,6)· q(4,5)· q(3,5)·	q(5,7)	1	q(5,9)· q(4,7)· q(3,7)·
25	q(4,4)· q(3,4)	q(4,5)· q(3,5)	q(4,6)· q(3,6)	1	q(5,1)· q(4,1)· q(3,1)	q(5,2)· q(4,2)· q(3,2)	q(5,3)· q(4,3)· q(3,3)	q(5,4)· q(4,3)· q(3,3)	q(5,5)· q(4,4)· q(3,4)·	q(5,6)· q(4,5)· q(3,5)·	q(5,7)· q(4,6)· q(3,6)·	q(5,8)· q(4,6)· q(3,6)·	1

Elaborado por: Guillermo Alejandro Rodríguez Morocho

Tabla 69. Matriz RIA luego de realizar los cálculos

1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0
1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0
1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1

Elaborado por: Guillermo Alejandro Rodríguez Morocho

4.7.2.5 Cálculo de λ_T y λ_{rT}

En base a la Ecuaciones 14, y 15 , presentadas en la sección 1.5 del Capítulo I, se determina la tasa total de fallos por año λ_T y el tiempo anual de duración de falla λ_{rT} . A diferencia de λ_s y r_s , que representan la tasa de fallos y tiempo de duración de falla de cada una de las zonas, toman en cuenta la interacción de los elementos con el resto de zonas. Para realizar el cálculo final se realizan dos scripts en MATLAB para el sistema actual como para el sistema mejorado. El código usado se indica en los Anexos 2 y 3 del presente trabajo.

4.7.2.6 Resultados del sistema base

En la Tabla 70 se muestran los índices totales de falla por zona por cada rama del sistema base. Es decir, del sistema conformado por los transformadores antiguos del Bloque 2.

Tabla 70. Índices de falla por zonas

Zonas	λ [fallas/año]	λ_r [horas/año]	r[horas/fallas]
S(1,1)	2.7088	3.46828	1.280375074
S(2,1)	0.157717	0.85	5.41
S(3,1)	0.048	0.6732	14.025
S(3,2)	0.048	0.6732	14.025
S(3,3)	0.048	0.6732	14.025
S(3,4)	0.048	0.6732	14.025
S(3,5)	0.048	0.6732	14.025
S(3,6)	0.048	0.6732	14.025
S(3,7)	0.048	0.6732	14.025
S(4,1)	0.042802	0.219054	5.117844961
S(4,2)	0.042802	0.219054	5.117844961
S(4,3)	0.063802	0.317754	4.980314097
S(4,4)	0.042802	0.219054	5.117844961
S(4,5)	0.042802	0.219054	5.117844961
S(4,6)	0.063802	0.317754	4.980314097
S(4,7)	0.042802	0.219054	5.117844961
S(5,1)	0.021	0.0987	4.7
S(5,2)	0.021	0.0987	4.7
S(5,3)	0.021	0.0987	4.7
S(5,4)	0.021	0.0987	4.7
S(5,5)	0.021	0.0987	4.7
S(5,6)	0.021	0.0987	4.7
S(5,7)	0.021	0.0987	4.7
S(5,8)	0.021	0.0987	4.7
S(5,9)	0.021	0.0987	4.7

Elaborado por: Guillermo Alejandro Rodríguez Morocho

En la Tabla 71 se muestran los índices de falla totales por cada zona y por cada rama de sistema ya mencionado.

Tabla 71. Índices de falla totales por zonas

Zonas	λ_T [fallas/año]	λ_{rT} [horas/año]
S(1,1)	2.7088	3.46828
S(2,1)	2.866517	15.50682154
S(3,1)	2.914517	40.87610093
S(3,2)	2.914517	40.87610093
S(3,3)	2.914517	40.87610093
S(3,4)	2.914517	40.87610093
S(3,5)	2.914517	40.87610093
S(3,6)	2.914517	40.87610093
S(3,7)	2.914517	40.87610093
S(4,1)	2.957319	15.13510014
S(4,2)	2.957319	15.13510014
S(4,3)	2.978319	14.8329641
S(4,4)	2.957319	15.13510014
S(4,5)	2.957319	15.13510014
S(4,6)	2.978319	14.8329641
S(4,7)	2.957319	15.13510014
S(5,1)	2.978319	13.9980993
S(5,2)	2.978319	13.9980993
S(5,3)	2.999319	14.0967993
S(5,4)	2.999319	14.0967993
S(5,5)	2.978319	13.9980993
S(5,6)	2.978319	13.9980993
S(5,7)	2.999319	14.0967993
S(5,8)	2.999319	14.0967993
S(5,9)	2.978319	13.9980993

Elaborado por: Guillermo Alejandro Rodríguez Morocho

4.7.2.7 Resultados del sistema mejorado

En la Tabla 71 se muestran los índices totales de falla por zona y por cada rama del sistema con las mejoras propuestas. Es decir, del sistema en donde ya se han reemplazado los transformadores antiguos del Bloque 2 por unos nuevos.

Tabla 72. Índices de falla por zonas

Zonas	λ [fallas/año]	λ_r [horas/año]	r[horas/fallas]
S(1,1)	2.71	3.47	1.28
S(2,1)	0.157717	0.853192	5.409638783
S(3,1)	0.0473	0.6732	14.23255814
S(3,2)	0.0473	0.6732	14.23255814
S(3,3)	0.048	0.6732	14.025
S(3,4)	0.048	0.6732	14.025
S(3,5)	0.048	0.6732	14.025
S(3,6)	0.048	0.6732	14.025
S(3,7)	0.048	0.6732	14.025
S(4,1)	0.042802	0.219054	5.117844961
S(4,2)	0.042802	0.219054	5.117844961
S(4,3)	0.063802	0.317754	4.980314097
S(4,4)	0.042802	0.219054	5.117844961
S(4,5)	0.042802	0.219054	5.117844961
S(4,6)	0.063802	0.317754	4.980314097
S(4,7)	0.042802	0.219054	5.117844961
S(5,1)	0.021	0.0987	4.7
S(5,2)	0.021	0.0987	4.7
S(5,3)	0.021	0.0987	4.7
S(5,4)	0.021	0.0987	4.7
S(5,5)	0.021	0.0987	4.7
S(5,6)	0.021	0.0987	4.7
S(5,7)	0.021	0.0987	4.7
S(5,8)	0.021	0.0987	4.7
S(5,9)	0.021	0.0987	4.7

Elaborado por: Guillermo Alejandro Rodríguez Morocho

En la Tabla 73 se muestran los índices de falla totales por cada zona y por cada rama de sistema ya mencionado.

Tabla 73. Índices de falla totales por zonas

Zonas	λ_T [fallas/año]	λ_{rT} [horas/año]
S(1,1)	2.7088	3.46828
S(2,1)	2.866517	15.50682154
S(3,1)	2.913817	41.47106986
S(3,2)	2.913817	41.47106986
S(3,3)	2.914517	40.87610093
S(3,4)	2.914517	40.87610093
S(3,5)	2.914517	40.87610093
S(3,6)	2.914517	40.87610093
S(3,7)	2.914517	40.87610093
S(4,1)	2.956619	15.13151765
S(4,2)	2.956619	15.13151765
S(4,3)	2.978319	14.8329641
S(4,4)	2.957319	15.13510014
S(4,5)	2.957319	15.13510014
S(4,6)	2.978319	14.8329641
S(4,7)	2.957319	15.13510014
S(5,1)	2.977619	13.9948093
S(5,2)	2.977619	13.9948093
S(5,3)	2.999319	14.0967993
S(5,4)	2.999319	14.0967993
S(5,5)	2.978319	13.9980993
S(5,6)	2.978319	13.9980993
S(5,7)	2.999319	14.0967993
S(5,8)	2.999319	14.0967993
S(5,9)	2.978319	13.9980993

Elaborado por: Guillermo Alejandro Rodríguez Morocho

4.7.3 Análisis de Resultados

Al examinar las tablas 70 y 72, correspondientes a los índices de falla de cada zona de manera individual, se puede observar que el índice de falla de la zona 1 en ambos casos es mucho más grande que en las otras zonas, debido a que en esta zona se toma en consideración el índice de falla λ_s . Mismo que corresponde a la empresa de

distribución y es el índice de falla más grande porque depende de todo el sistema de distribución.

También se puede apreciar, para las zonas S (3,1) y S (3,2), que la tasa de fallos ha disminuido al reemplazar los transformadores del Bloque 2. Lo mismo sucede con los resultados de las Tablas 71 y 73, en donde se puede notar la disminución en las tasas de falla de varias zonas debido a que los índices totales toman en cuenta la interacción del resto de zonas.

CONCLUSIONES

- En base al análisis de energía realizado en este trabajo de titulación se concluye que la situación del área de Medicina Nuclear del Hospital Carlos Andrade Marín es alarmante en cuanto al desbalance de corriente provocado por el desbalance de carga.
- En el HCAM existen varios transformadores subutilizados, y otros sobrecargados. Además, hay un gran número de transformadores que han cumplido su periodo de vida útil, y que deberán ser retirados para que se garantice la confiabilidad del sistema eléctrico del hospital.
- El estudio cerámico demuestra que el Bloque de Medicina Nuclear está en la necesidad de un pararrayos o dispositivo de protección contra rayos, por cuanto sería conveniente su instalación, con el fin de prevenir transitorios generados por descargas atmosféricas.
- Con respecto a los armónicos, el HCAM cumple los límites establecidos por las normas ecuatoriana y americana. Sin embargo, esto no garantiza el correcto funcionamiento del sistema eléctrico, ya que, al momento de analizar el voltaje del neutro, se encontró que existe una gran cantidad de armónicos que puede solucionarse con la adquisición de D-STATCOM.
- Los UPS están desprotegidos, puesto que la norma IEEE 1100 sostiene que el UPS no es suficiente para garantizar la protección contra transitorios. El HCAM necesita TVSS, en especial en las zonas con alta densidad de cargas no lineales, y en equipos sensibles.
- El sistema de puesta a Tierra de la malla general 3 necesita un rediseño con tratamiento de suelo para mejorar la resistividad. Esto reducirá las perturbaciones en el neutro, y garantizará la seguridad de los equipos y del personal operante en caso de cortocircuitos.
- La instalación de nuevos transformadores en el bloque 2 permite mejorar los índices de confiabilidad del sistema.
- Se pudo obtener los índices de tasa de fallas al año, y de horas de falla al año con el método de zonas y ramas.

RECOMENDACIONES

- Dentro de las soluciones propuestas se requiere un transformador de 1000 kVA. Se recomienda que este equipo tenga tanque de compensación de aceite y las mismas características anteriormente descritas en la sección 4.4.
- Se recomienda realizar mediciones de resistencia después de haber instalado las mallas de puesta a tierra.
- Se recomienda que luego de la instalación de las mejoras propuestas se realice un nuevo análisis de la calidad de la energía eléctrica del HCAM para cuantificar el efecto que las mejoras han tenido en el sistema eléctrico actual.
- Para estudios futuros se recomienda un equipo de medición de calidad de energía que dé resultados sobre sag, swells, y otras perturbaciones de corta duración para que el análisis de calidad sea integral.
- En caso de que se requiera hacer un análisis de confiabilidad mucho más realista, se deberían obtener las probabilidades de que los elementos de protección fallen $q(i,j)$.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] IEEE, Inc., *IEEE Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems*, New York, 2014.
- [2] UNESA, *Características de la tensión suministrada por la redes generales de distribución*, Madrid: Aenor, 2001.
- [3] UNESA, *UNE-EN 61000-3-2 Compatibilidad electromagnética (CEM) Parte 3-2: Límites*, Madrid: Aenor, 2006.
- [4] S. Chattopadhyay, M. Mitra y S. Sengupta, *Electric Power Quality*, New York: Springer, 2011.
- [5] A. Larsson, «Flicker and slow voltage variations from wind power.,» de *Proceedings of International Conference Harmonics and Quality of Power*, Las Vegas, 1996.
- [6] R. C. Dugan, M. F. McGranaghan, S. Santoso y H. W. Beaty, *Electrical Power Systems Quality*, Segunda ed., McGraw-Hill, 2004.
- [7] A. Ureña Solís, «Seguridad eléctrica eficiente mediante UPS en sistemas hospitalarios,» *Revista Prisma Tecnológico*, vol. 4, nº 1, pp. 42-46, 2016.
- [8] IEEE, Inc. , *IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality*, New York, 2009.
- [9] J. Das, *Power system harmonics and passive filter designs*, Hoboken: John Wiley & Sons, Inc., 2015.
- [10] J. W. A Aguila, «Technical and Economic Assessment of the Implementation of Measures for Reducing Energy Losses in Distribution Systems,» de *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Perth, 2017.
- [11] G. L. I. I. J. G. AÁ Téllez, «Optimal reactive power compensation in electrical distribution systems with distributed resources. Review,» *Heliyon*, vol. e00746, 2018.
- [12] A. T. J. S. FAC Munoz, «Analysis of stability of tension and losses of electric power in distribution networks with distributed generation,» *IEEE Latin America Transactions*, vol. 14, nº 11, pp. 4491-4498, 2016.

- [13] M. A. S. Masoum y E. F. Fuchs, Power quality in power systems and electrical machines, Oxford : Elsevier, 2015.
- [14] K. Schon, High voltage measurement techniques, Cham: Springer, 2019.
- [15] A. Baghini, Handbook of power quality, Chichester: John Wiley & Sons Ltd, 2008.
- [16] D. G. L. M. AA Tellez, «Analysis of power losses in the asymmetric construction of electric distribution systems,» *IEEE Latin America Transactions*, vol. 13, nº 7, pp. 2190-2194, 2015.
- [17] IEC, *IEC 61000-2-4 : Environment- Compatibiliy levels industrial plants for low-frequency conducted disturbances*, 2001.
- [18] Fluke, Inc. , «Dam-assets.fluke.com,» [En línea]. Available: https://dam-assets.fluke.com/s3fs-public/9034921_SPA_A_W_0.PDF?hzAbAvgTjD5ZxcR4SmT8CJsTzgp22weI. [Último acceso: 17 12 2019].
- [19] M. Halpin, «The IEEE Emerald Book,» *IEEE Industry applications magazine*, vol. 9, nº 1, pp. 6-7, 2003.
- [20] IEEE, Inc, *IEEE Emerald Book™*, 2005.
- [21] ARCONEL, «Agencia de Regulación y Control,» 2018. [En línea]. Available: <https://www.regulacionelectrica.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/03/053-18-Proyecto-Regulac-Sustitutiva-a-Reg-N-CONELEC-004-01-Calidad-del-servicio-de-dist-y-comercializaci%C2%A6n-de-EE.pdf>. [Último acceso: 2019 12 13].
- [22] M. Rashid, Power electronics handbook: Devices, circuits and applications, San Diego: Elsevier, 2007.
- [23] J. Moubray, Manenimiento centrado en la confiabilidad, Lutterworth: Industrial Press Inc., 2000.
- [24] A. Birolini, Reliability Engineering, Octava ed., Berlin: Springer, 2017.
- [25] M. Čepin, Assesment of Power System Reliability, Ljubljana: Springer, 2011.
- [26] A. T. JPV Molina, «Design of Automatic Reclosing scheme in distribution feeders,» *IEEE Latin America Transactions*, vol. 13, nº 8, pp. 2587-2593, 2015.

- [27] G. R. Jones, M. A. Laughton y M. G. Say, *Electrical engineer's reference book*, Oxford: Butterworth-Heinemann, Ltd, 1993.
- [28] X. Zhang y E. Gockenbach, «Estimation of the lifetime of the electrical components in distribution networks,» *IEEE Transactions on power delivery*, vol. 22, n° 1, pp. 512-522, 2007.
- [29] G.-A. Klutke, P. C. Kiessler y M. A. Wortman, «Critical look at the bathtub curve,» *IEEE Transaction on reliability*, vol. 1, n° 52, 2003.
- [30] A. A. Chowdhury y D. O. Koval, *Power distribution system reliability*, Hoboken: John Wiley & Sons, Inc., 2009.
- [31] P. Gómez y J. Rivera, «Un problema social: tiempos de espera en la consulta externa del Hospital Carlos Andrade Marín,» *Estudios de la gestión*, n° 5, pp. 121-146, 2019.
- [32] W. J. Carrasco, «Situación actual del Ecuador en el uso y aplicaciones nucleares,» de *International Youth Nuclear Congress: Delegation to Latin America*, Buenos Aires, 2016.
- [33] *Evaluación de la aplicación del sistema de gestión de calidad y mejoramiento de procesos en el centro obstétrico del hospital Carlos Andrade Marín*, Quito: Universidad Católica del Ecuador, 2014.
- [34] IEC, *IEC 62305-1: Protection of structures against lightning*, Ginebra: IEC, 2006.
- [35] Fluke, « Analizadores de calidad eléctrica y energía 434-II y 435-II de Fluke,» Fluke Corporation, [En línea]. Available: <https://www.fluke.com/es-ve/producto/comprobacion-electrica/calidad-electrica/434-435>. [Último acceso: 12 Diciembre 2019].
- [36] A. Eberhard, *Power quality*, Rijeka: Croatia, 2011.
- [37] M. Mora-Barajas y P. Bañuelos-Sánchez , «Contaminación armónica producida por cargas no lineales de baja potencia: modelo matemático y casos prácticos,» *Ingeniería, investigación y tecnología*, vol. 11, n° 2, 2010.
- [38] E. Shahryari, H. Shayeghi y M. Moradzadeh, «Probabilistic and Multi-Objective Placement of D-STATCOM in Distribution Systems Considering Load Uncertainty,» *Electric Power Components and Systems*, vol. 46, n° 1, pp. 1-16, 2018.

- [39] P. Bapaiah, «Power Quality Improvement by using DSTATCOM,» *International Journal of Emerging Trends in Electrical and Electronics*, vol. 2, nº 3, 2013.
- [40] IEEE, Inc, *IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding*, New York: IEEE, 2000.
- [41] pspenergy., «Electrodo EP-ET químico de puesta a tierra,» [En línea]. Available: <http://pspenergy.com.pe/portfolio/electrodo-ep-qt-quimico-de-puesta-a-tierra/>. [Último acceso: 23 12 2019].
- [42] N. Yusoff , J. Jasni, B. Manson y M. Kadir, «A study on lightning protection system - The effect of bending degree of the down conductor,» de *International Conference on Lightning Protection*, Shanghai, 2014.
- [43] S. Ait-Amar y G. Berger, «A model of protection of earthed structures by means of lightning rod conductors,» de *IEEE Russia Power Tech*, St. Petersburg, 2005.
- [44] Electro-Meters, «TVSS Series STABILINE,» [En línea]. [Último acceso: 25 Diciembre 2019].
- [45] B. Singh, A. Chandra y K. Al-Haddad, *Power quality problems and mitigation techniques*, Chichester: John Wiley & Sons, 2015.
- [46] S. M. Suhail Hussain y N. Visali, «Identification of weak buses using voltage stability indicator and its voltage profile improvement by using DSTATCOM in radial distribution systems,» *IOSR Journal of Electrical and Electronics Engineering*, vol. 2, nº 4, pp. 17-23, 2012.

ANEXOS

ANEXO 1: Determinación de carga y demanda de los transformadores del HCAM.

ESTUDIO DE CARGA Y DEMANDA																																	
CÁMARA:			CT-01																														
TRANSFORMADOR:			TP-01																														
ACTIVIDAD TIPO:		HOSPITAL			ATENCION HOSPITALARIA																												
LOCALIZACION:		18 DE SEPTIEMBRE Y UNIVERSITARIA																															
USUARIO TIPO:		INDUSTRIAL																															
NUMERO DE USUARIOS:		3000																															
PLANILLAS PARA LA DETERMINACION DE DEMANDAS UNITARIAS DE DISEÑO																																	
ITEM	APARATOS ELECTRICOS Y ALUMBRADO			FFUn(%)	CIR(W)	FSn(%)	DMU(W)																										
	DESCRIPCION	CANT	Pn(W)	%	(W)	(%)	(W)																										
1	Puntos de tomacorrientes reguladas	1683	200	100%	336600	75%	252450																										
2	modulos grado hospitalario	300	500	100%	150000	65%	97500																										
3	monitores en paciente	400	50	100%	20000	50%	10000																										
4	bombas de infusion	800	50	100%	40000	100%	40000																										
5	equipo resusitador	100	100	100%	10000	25%	2500																										
6	servidores y switch	25	125	100	3125	100%	3125																										
	TOTAL				559725		405575																										
<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 40%; border: none;"> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>Potencia Total Instalada (KW)</td><td>559.73</td></tr> <tr><td>Potencia Instalada (KW)</td><td>405.58</td></tr> <tr><td>Factor de potencia:</td><td>0.92</td></tr> <tr><td>DMU promedio (KVA):</td><td>440.84</td></tr> <tr><td>Ti (%):</td><td>-</td></tr> <tr><td>(1+Ti/100)^10(proyeccion)</td><td>1.02</td></tr> <tr><td>Dmax(coincidente)</td><td>-</td></tr> <tr><td>N(Locales comerciales)</td><td>-</td></tr> <tr><td>M</td><td>1.00</td></tr> <tr><td>FD(diversidad)</td><td>1.25</td></tr> <tr><td>DMUp (KVA):</td><td>449.66</td></tr> <tr><td>DEMANDA CALCULADA</td><td>450.00</td></tr> </table> </td> <td style="width: 60%; border: none; vertical-align: top; padding: 5px;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> Factor de demanda: $FDM = [DMU(w) / CIR (w)] \dots 0 < FMD < 0.6$ <p style="text-align: right;">0.72</p> Demanda Requerida: <p style="text-align: right;">450.00 Kva</p> </div> </td> </tr> </table>								<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>Potencia Total Instalada (KW)</td><td>559.73</td></tr> <tr><td>Potencia Instalada (KW)</td><td>405.58</td></tr> <tr><td>Factor de potencia:</td><td>0.92</td></tr> <tr><td>DMU promedio (KVA):</td><td>440.84</td></tr> <tr><td>Ti (%):</td><td>-</td></tr> <tr><td>(1+Ti/100)^10(proyeccion)</td><td>1.02</td></tr> <tr><td>Dmax(coincidente)</td><td>-</td></tr> <tr><td>N(Locales comerciales)</td><td>-</td></tr> <tr><td>M</td><td>1.00</td></tr> <tr><td>FD(diversidad)</td><td>1.25</td></tr> <tr><td>DMUp (KVA):</td><td>449.66</td></tr> <tr><td>DEMANDA CALCULADA</td><td>450.00</td></tr> </table>	Potencia Total Instalada (KW)	559.73	Potencia Instalada (KW)	405.58	Factor de potencia:	0.92	DMU promedio (KVA):	440.84	Ti (%):	-	(1+Ti/100)^10(proyeccion)	1.02	Dmax(coincidente)	-	N(Locales comerciales)	-	M	1.00	FD(diversidad)	1.25	DMUp (KVA):	449.66	DEMANDA CALCULADA	450.00	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> Factor de demanda: $FDM = [DMU(w) / CIR (w)] \dots 0 < FMD < 0.6$ <p style="text-align: right;">0.72</p> Demanda Requerida: <p style="text-align: right;">450.00 Kva</p> </div>
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>Potencia Total Instalada (KW)</td><td>559.73</td></tr> <tr><td>Potencia Instalada (KW)</td><td>405.58</td></tr> <tr><td>Factor de potencia:</td><td>0.92</td></tr> <tr><td>DMU promedio (KVA):</td><td>440.84</td></tr> <tr><td>Ti (%):</td><td>-</td></tr> <tr><td>(1+Ti/100)^10(proyeccion)</td><td>1.02</td></tr> <tr><td>Dmax(coincidente)</td><td>-</td></tr> <tr><td>N(Locales comerciales)</td><td>-</td></tr> <tr><td>M</td><td>1.00</td></tr> <tr><td>FD(diversidad)</td><td>1.25</td></tr> <tr><td>DMUp (KVA):</td><td>449.66</td></tr> <tr><td>DEMANDA CALCULADA</td><td>450.00</td></tr> </table>	Potencia Total Instalada (KW)	559.73	Potencia Instalada (KW)	405.58	Factor de potencia:	0.92	DMU promedio (KVA):	440.84	Ti (%):	-	(1+Ti/100)^10(proyeccion)	1.02	Dmax(coincidente)	-	N(Locales comerciales)	-	M	1.00	FD(diversidad)	1.25	DMUp (KVA):	449.66	DEMANDA CALCULADA	450.00	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> Factor de demanda: $FDM = [DMU(w) / CIR (w)] \dots 0 < FMD < 0.6$ <p style="text-align: right;">0.72</p> Demanda Requerida: <p style="text-align: right;">450.00 Kva</p> </div>								
Potencia Total Instalada (KW)	559.73																																
Potencia Instalada (KW)	405.58																																
Factor de potencia:	0.92																																
DMU promedio (KVA):	440.84																																
Ti (%):	-																																
(1+Ti/100)^10(proyeccion)	1.02																																
Dmax(coincidente)	-																																
N(Locales comerciales)	-																																
M	1.00																																
FD(diversidad)	1.25																																
DMUp (KVA):	449.66																																
DEMANDA CALCULADA	450.00																																

Figura 1. 1. Estudio de carga y demanda del transformador TP-01

[illegible]

Figura 1.2. Estudio de carga y demanda del transformador TP-02

[illegible]

Figura 1. 3. Estudio de carga y demanda del transformador TP-03

ESTUDIO DE CARGA Y DEMANDA							
CÁMARA:			CT-01				
TRANSFORMADOR:			TP-04				
ACTIVIDAD TIPO:	HOSPITAL		ATENCION HOSPITALARIA				
LOCALIZACION:	18 DE SEPTIEMBRE Y UNIVERSITARIA						
USUARIO TIPO:	INDUSTRIAL						
NUMERO DE USUARIOS:	3000						
PLANILLAS PARA LA DETERMINACION DE DEMANDAS UNITARIAS DE DISEÑO							
ITEM	APARATOS ELECTRICOS Y ALUMBRADO			FFUn(%)	CIR(W)	FSn(%)	DMU(W)
	DESCRIPCION	CANT	Pn(W)	%	(W)	(%)	(W)
1	EQUIPO FLEXAVISION GASTRICO	1	65458	100%	65458	100%	65458
2	SISTEMA DE CONTROL	2	800	100%	1600	100%	1600
TOTAL					67058		67058
Potencia Total Instalada (KW)	67.06	Factor de demanda: $FDM = [DMU(w) / CIR (w)] \dots 0 < FMD < 0.6$ 1.00 Demanda Requerida: 75.00 Kva					
Potencia Instalada (KW)	67.06						
Factor de potencia:	0.92						
DMU promedio (KVA):	72.89						
Ti (%):	-						
(1+Ti/100)^10(proyeccion)	1.02						
Dmax(coincidente)	-						
N(Locales comerciales)	-						
M	1.00						
FD(diversidad)	1.25						
DMUp (KVA):	74.35						
DEMANDA CALCULADA	75.00						

Figura 1. 4. Estudio de carga y demanda del transformador TP-04

ESTUDIO DE CARGA Y DEMANDA																															
CÁMARA:				CT-01																											
TRANSFORMADOR:				TP-05																											
ACTIVIDAD TIPO:		HOSPITAL			ATENCION HOSPITALARIA																										
LOCALIZACION:		18 DE SEPTIEMBRE Y UNIVERSITARIA																													
USUARIO TIPO:		INDUSTRIAL																													
NUMERO DE USUARIOS:		3000																													
PLANILLAS PARA LA DETERMINACION DE DEMANDAS UNITARIAS DE DISEÑO																															
ITEM	APARATOS ELECTRICOS Y ALUMBRADO			FFUn(%)	CIR(W)	FSn(%)	DMU(W)																								
	DESCRIPCION	CANT	Pn(W)	%	(W)	(%)	(W)																								
1	EQUIPO ACELERADOR MONOELECTRONICO	1	81458	100%	81458	85%	69239.3																								
2	SISTEMA DE CONTROL	2	350	100%	700	85%	595																								
TOTAL					82158		69834.3																								
<table border="1"> <tbody> <tr> <td>Potencia Total Instalada (KW)</td> <td>82.16</td> </tr> <tr> <td>Potencia Instalada (KW)</td> <td>69.83</td> </tr> <tr> <td>Factor de potencia:</td> <td>0.92</td> </tr> <tr> <td>DMU promedio (KVA):</td> <td>75.91</td> </tr> <tr> <td>Ti (%):</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>(1+Ti/100)^10(proyeccion)</td> <td>1.02</td> </tr> <tr> <td>Dmax(coincidente)</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>N(Locales comerciales)</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>M</td> <td>1.00</td> </tr> <tr> <td>FD(diversidad)</td> <td>1.25</td> </tr> <tr> <td>DMUp (KVA):</td> <td>77.42</td> </tr> <tr> <td>DEMANDA CALCULADA</td> <td>75.00</td> </tr> </tbody> </table>								Potencia Total Instalada (KW)	82.16	Potencia Instalada (KW)	69.83	Factor de potencia:	0.92	DMU promedio (KVA):	75.91	Ti (%):	-	(1+Ti/100)^10(proyeccion)	1.02	Dmax(coincidente)	-	N(Locales comerciales)	-	M	1.00	FD(diversidad)	1.25	DMUp (KVA):	77.42	DEMANDA CALCULADA	75.00
Potencia Total Instalada (KW)	82.16																														
Potencia Instalada (KW)	69.83																														
Factor de potencia:	0.92																														
DMU promedio (KVA):	75.91																														
Ti (%):	-																														
(1+Ti/100)^10(proyeccion)	1.02																														
Dmax(coincidente)	-																														
N(Locales comerciales)	-																														
M	1.00																														
FD(diversidad)	1.25																														
DMUp (KVA):	77.42																														
DEMANDA CALCULADA	75.00																														
<table border="1"> <tbody> <tr> <td colspan="2">Factor de demanda:</td> </tr> <tr> <td>FDM = [DMU(w) / CIR (w)]---0<FMD<0.6</td> <td>0.85</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Demanda Requerida:</td> </tr> <tr> <td></td> <td>75.00 Kva</td> </tr> </tbody> </table>								Factor de demanda:		FDM = [DMU(w) / CIR (w)]---0<FMD<0.6	0.85	Demanda Requerida:			75.00 Kva																
Factor de demanda:																															
FDM = [DMU(w) / CIR (w)]---0<FMD<0.6	0.85																														
Demanda Requerida:																															
	75.00 Kva																														

Figura 1. 5. Estudio de carga y demanda del transformador TP-05

ESTUDIO DE CARGA Y DEMANDA							
CÁMARA:			CT-02				
TRANSFORMADOR:			TP-11				
NOMBRE DEL HOSPITAL:	HOSPITAL DE ESPECIALIDADES CARLOS ANDRADE MARIN						
ACTIVIDAD TIPO:	HOSPITAL			ATENCION HOSPITALARIA			
LOCALIZACION:	18 DE SEPTIEMBRE Y UNIVERSITARIA						
USUARIO TIPO:	INDUSTRIAL						
NUMERO DE USUARIOS:	3000						
PLANILLAS PARA LA DETERMINACION DE DEMANDAS UNITARIAS DE DISEÑO							
ITEM	APARATOS ELECTRICOS Y ALUMBRADO			FFUn(%)	CIR(W)	FSn(%)	DMU(W)
	DESCRIPCION	CANT	Pn(W)	%	(W)	(%)	(W)
1	TOMOGRAFO DE EMERGENCIA	1	81457	100%	81457	85%	69238.45
TOTAL					81457		69238.45
Potencia Total Instalada (KW)	81.46						
Potencia Instalada (KW)	69.24						
Factor de potencia:	0.92						
DMU promedio (KVA):	75.26						
Ti (%):	-						
(1+Ti/100)^10(proyeccion)	1.02						
Dmax(coincidente)	-						
N(Locales comerciales)	-						
M	1.00						
FD(diversidad)	1.00						
DMUp (KVA):	76.76						
DEMANDA CALCULADA	-						
Factor de demanda:				FDM = [DMU(w) / CIR (w)]---0<FMD<0.6			
				0.85			
Demanda Requerida:				75.00 Kva			

Figura 1. 6. Estudio de carga y demanda del transformador TP-11

ESTUDIO DE CARGA Y DEMANDA								
CÁMARA:				CT-02				
TRANSFORMADOR:				TP-12				
ACTIVIDAD TIPO:			HOSPITAL		ATENCION HOSPITALARIA			
LOCALIZACION:			18 DE SEPTIEMBRE Y UNIVERSITARIA					
USUARIO TIPO:			INDUSTRIAL					
NUMERO DE USUARIOS:			3000					
PLANILLAS PARA LA DETERMINACION DE DEMANDAS UNITARIAS DE DISEÑO								
ITEM+A18J	APARATOS ELECTRICOS Y ALUMBRADO				FFUn(%)	CIR(W)	FSn(%)	DMU(W)
	DESCRIPCION	CANT	Pn(W)	%	(W)	(%)	(W)	
1	RESONANCIA MAGNETICA	1	68756	100%	68756	100%	68756	
	TOTAL				68756		68756	
Potencia Total Instalada (KW)		68.76						
Potencia Instalada (KW)		68.76						
Factor de potencia:		0.92						
DMU promedio (KVA):		74.73						
Ti (%):		-						
(1+Ti/100)^10(proyeccion)		1.02						
Dmax(coincidente)		-						
N(Locales comerciales)		-						
M		1.00						
FD(diversidad)		1.25						
DMUp (KVA):		76.23						
DEMANDA CALCULADA		-						
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div> <p>Factor de demanda:</p> <p>FDM = [DMU(w) / CIR (w)] ---0<FMD<0.6</p> <p>Demanda Requerida:</p> </div> <div style="text-align: right;"> <p>1.00</p> <p>75.00 Kva</p> </div> </div>								

Figura 1. 7. Estudio de carga y demanda del transformador TP-12

ESTUDIO DE CARGA Y DEMANDA																															
CÁMARA:				CT-02																											
TRANSFORMADOR:				TP-13																											
ACTIVIDAD TIPO:		HOSPITAL			ATENCION HOSPITALARIA																										
LOCALIZACION:		18 DE SEPTIEMBRE Y UNIVERSITARIA																													
USUARIO TIPO:		INDUSTRIAL																													
NUMERO DE USUARIOS:		3000																													
PLANILLAS PARA LA DETERMINACION DE DEMANDAS UNITARIAS DE DISEÑO																															
ITEM	APARATOS ELECTRICOS Y ALUMBRADO			FFUn(%)	CIR(W)	FSn(%)	DMU(W)																								
	DESCRIPCION	CANT	Pn(W)	%	(W)	(%)	(W)																								
1	TOMOGRFO	1	65458	100%	65458	100%	65458																								
TOTAL					65458		65458																								
<table border="1"> <tbody> <tr> <td>Potencia Total Instalada (KW)</td> <td>65.46</td> </tr> <tr> <td>Potencia Instalada (KW)</td> <td>65.46</td> </tr> <tr> <td>Factor de potencia:</td> <td>0.92</td> </tr> <tr> <td>DMU promedio (KVA):</td> <td>71.15</td> </tr> <tr> <td>Ti (%):</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>(1+Ti/100)^10(proyeccion)</td> <td>1.02</td> </tr> <tr> <td>Dmax(coincidente)</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>N(Locales comerciales)</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>M</td> <td>1.00</td> </tr> <tr> <td>FD(diversidad)</td> <td>1.25</td> </tr> <tr> <td>DMUp (KVA):</td> <td>72.57</td> </tr> <tr> <td>DEMANDA CALCULADA</td> <td>-</td> </tr> </tbody> </table>								Potencia Total Instalada (KW)	65.46	Potencia Instalada (KW)	65.46	Factor de potencia:	0.92	DMU promedio (KVA):	71.15	Ti (%):	-	(1+Ti/100)^10(proyeccion)	1.02	Dmax(coincidente)	-	N(Locales comerciales)	-	M	1.00	FD(diversidad)	1.25	DMUp (KVA):	72.57	DEMANDA CALCULADA	-
Potencia Total Instalada (KW)	65.46																														
Potencia Instalada (KW)	65.46																														
Factor de potencia:	0.92																														
DMU promedio (KVA):	71.15																														
Ti (%):	-																														
(1+Ti/100)^10(proyeccion)	1.02																														
Dmax(coincidente)	-																														
N(Locales comerciales)	-																														
M	1.00																														
FD(diversidad)	1.25																														
DMUp (KVA):	72.57																														
DEMANDA CALCULADA	-																														
<table border="1"> <tbody> <tr> <td>Factor de demanda:</td> <td></td> </tr> <tr> <td>FDM =[DMU(w) / CIR (w)]---0<FMD<0.6</td> <td>1.00</td> </tr> <tr> <td>Demanda Requerida:</td> <td>75.00 Kva</td> </tr> </tbody> </table>								Factor de demanda:		FDM =[DMU(w) / CIR (w)]---0<FMD<0.6	1.00	Demanda Requerida:	75.00 Kva																		
Factor de demanda:																															
FDM =[DMU(w) / CIR (w)]---0<FMD<0.6	1.00																														
Demanda Requerida:	75.00 Kva																														

Figura 1. 8. Estudio de carga y demanda del transformador TP-13

ESTUDIO DE CARGA Y DEMANDA									
CÁMARA:			CT-02						
TRANSFORMADOR:			TP-14						
ACTIVIDAD TIPO:		HOSPITAL		ATENCION HOSPITALARIA					
LOCALIZACION:		18 DE SEPTIEMBRE Y UNIVERSITARIA							
USUARIO TIPO:		INDUSTRIAL							
NUMERO DE USUARIOS:		3000							
PLANILLAS PARA LA DETERMINACION DE DEMANDAS UNITARIAS DE DISEÑO									
ITEM	APARATOS ELECTRICOS Y ALUMBRADO			FFUn(%)	CIR(W)	FSn(%)	DMU(W)		
	DESCRIPCION	CANT	Pn(W)	%	(W)	(%)	(W)		
1	MAMOGRAFO SALA 13	1	85000	100%	85000	85%	72250		
2	MAMOGRAFO	1	75000	100%	75000	85%	63750		
TOTAL					160000		136000		
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 40%;"> Potencia Total Instalada (KW) 160.00 Potencia Instalada (KW) 136.00 Factor de potencia: 0.92 DMU promedio (KVA): 147.83 Ti (%): - (1+Ti/100)^10(proyeccion) 1.02 Dmax(coincidente) 1.00 N 1.00 M 1.00 FD(diversidad) 1.00 DMUp (KVA): 150.78 DEMANDA CALCULADA 150.78 </td> <td style="width: 60%;"> Factor de demanda: $FDM = [DMU(w) / CIR (w)] --- 0 < FMD < 0.6$ 0.85 Demanda Requerida: 150.00 Kva </td> </tr> </table>								Potencia Total Instalada (KW) 160.00 Potencia Instalada (KW) 136.00 Factor de potencia: 0.92 DMU promedio (KVA): 147.83 Ti (%): - (1+Ti/100)^10(proyeccion) 1.02 Dmax(coincidente) 1.00 N 1.00 M 1.00 FD(diversidad) 1.00 DMUp (KVA): 150.78 DEMANDA CALCULADA 150.78	Factor de demanda: $FDM = [DMU(w) / CIR (w)] --- 0 < FMD < 0.6$ 0.85 Demanda Requerida: 150.00 Kva
Potencia Total Instalada (KW) 160.00 Potencia Instalada (KW) 136.00 Factor de potencia: 0.92 DMU promedio (KVA): 147.83 Ti (%): - (1+Ti/100)^10(proyeccion) 1.02 Dmax(coincidente) 1.00 N 1.00 M 1.00 FD(diversidad) 1.00 DMUp (KVA): 150.78 DEMANDA CALCULADA 150.78	Factor de demanda: $FDM = [DMU(w) / CIR (w)] --- 0 < FMD < 0.6$ 0.85 Demanda Requerida: 150.00 Kva								

Figura 1. 9. Estudio de carga y demanda del transformador TP-14

[illegible]

Figura 1. 10. Estudio de carga y demanda del transformador TP-15

ESTUDIO DE CARGA Y DEMANDA																															
CÁMARA:				CT-02																											
TRANSFORMADOR:				TP-16																											
ACTIVIDAD TIPO:		HOSPITAL			ATENCION HOSPITALARIA																										
LOCALIZACION:		18 DE SEPTIEMBRE Y UNIVERSITARIA																													
USUARIO TIPO:		INDUSTRIAL																													
NUMERO DE USUARIOS:		3000																													
PLANILLAS PARA LA DETERMINACION DE DEMANDAS UNITARIAS DE DISEÑO																															
ITEM	APARATOS ELECTRICOS Y ALUMBRADO			FFUn(%)	CIR(W)	FSn(%)	DMU(W)																								
	DESCRIPCION	CANT	Pn(W)	%	(W)	(%)	(W)																								
1	ANGIOGRAFO ARCO EN C	1	135000	100%	135000	75%	101250																								
2	TOMÓGRAFO SOMATON EMOTION DUO (2 CORTES)	1	100000	100%	100000	85%	85000																								
3	FLEXAVISION	1	45000	100%	45000	75%	33750																								
TOTAL					280000		220000																								
<table border="1"> <tbody> <tr> <td>Potencia Total Instalada (KW)</td> <td>280.00</td> </tr> <tr> <td>Potencia Instalada (KW)</td> <td>220.00</td> </tr> <tr> <td>Factor de potencia:</td> <td>0.92</td> </tr> <tr> <td>DMU promedio (KVA):</td> <td>239.13</td> </tr> <tr> <td>Ti (%):</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>(1+Ti/100)^10(proyeccion)</td> <td>1.00</td> </tr> <tr> <td>Dmax(coincidente)</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>N</td> <td>1.00</td> </tr> <tr> <td>M</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>FD(diversidad)</td> <td>1.00</td> </tr> <tr> <td>DMUp (KVA):</td> <td>239.13</td> </tr> <tr> <td>DEMANDA CALCULADA</td> <td>239.13</td> </tr> </tbody> </table>								Potencia Total Instalada (KW)	280.00	Potencia Instalada (KW)	220.00	Factor de potencia:	0.92	DMU promedio (KVA):	239.13	Ti (%):	-	(1+Ti/100)^10(proyeccion)	1.00	Dmax(coincidente)	-	N	1.00	M	-	FD(diversidad)	1.00	DMUp (KVA):	239.13	DEMANDA CALCULADA	239.13
Potencia Total Instalada (KW)	280.00																														
Potencia Instalada (KW)	220.00																														
Factor de potencia:	0.92																														
DMU promedio (KVA):	239.13																														
Ti (%):	-																														
(1+Ti/100)^10(proyeccion)	1.00																														
Dmax(coincidente)	-																														
N	1.00																														
M	-																														
FD(diversidad)	1.00																														
DMUp (KVA):	239.13																														
DEMANDA CALCULADA	239.13																														
<table border="1"> <tbody> <tr> <td colspan="2">Factor de demanda:</td> </tr> <tr> <td>FDM = [DMU(w) / CIR (w)] --- 0 < FMD < 0.6</td> <td>0.79</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Demanda Requerida:</td> </tr> <tr> <td></td> <td>250.00 Kva</td> </tr> </tbody> </table>								Factor de demanda:		FDM = [DMU(w) / CIR (w)] --- 0 < FMD < 0.6	0.79	Demanda Requerida:			250.00 Kva																
Factor de demanda:																															
FDM = [DMU(w) / CIR (w)] --- 0 < FMD < 0.6	0.79																														
Demanda Requerida:																															
	250.00 Kva																														

Figura 1. 11. Estudio de carga y demanda del transformador TP-16

ESTUDIO DE CARGA Y DEMANDA							
CÁMARA:			CT-03				
TRANSFORMADOR:			TP-17				
ACTIVIDAD TIPO:		HOSPITAL		ATENCION HOSPITALARIA			
LOCALIZACION:		18 DE SEPTIEMBRE Y UNIVERSITARIA					
USUARIO TIPO:		INDUSTRIAL					
NUMERO DE USUARIOS:		3000					
PLANILLAS PARA LA DETERMINACION DE DEMANDAS UNITARIAS DE DISEÑO							
ITEM	APARATOS ELECTRICOS Y ALUMBRADO			FFUn(%)	CIR(W)	FSn(%)	DMU(W)
	DESCRIPCION	CANT	Pn(W)	%	(W)	(%)	(W)
1	Puntos de tomacorrientes normales	2856	200	100%	571200	100%	571200
2	modulos grado hospitalario	300	500	100%	150000	100%	150000
3	monitores en paciente	400	50	100%	20000	50%	10000
4	bombas de infusion	800	50	100%	40000	100%	40000
5	equipo resusitador	100	100	100%	10000	25%	2500
6	servidores y switch	25	125	100%	3125	100%	3125
7	LASER	1	250	100%	250	45%	112.5
8	LASER DE HOLMIO	1	250	100%	250	35%	87.5
10	ANGIOGRAFO ARCO EN C	1	25000	100%	25000	50%	12500
11	AUTOCLAVE	1	220	100%	220	100%	220
12	CAMINADORA	1	2200	100%	2200	50%	1100
13	CAMINADORA ELECTRICA	1	2200	100%	2200	50%	1100
14	CAMINADORA ELECTRICA	1	2200	100%	2200	50%	1100
15	CAMINADORA ELECTRICA	1	2200	100%	2200	50%	1100
16	DIGITALIZADOR	1	1680	100%	1680	50%	840
17	DIGITALIZADOR	1	1080	100%	1080	50%	540
18	EQUIPO DE ABLACIÓN	1	220	100%	220	50%	110
19	EXCIMER LASER: MIOPIA, HIPERME	1	370	100%	370	50%	185
20	GAMMA CAMARA	1	42000	100%	42000	75%	31500
21	GAMMA CAMARA	1	42000	100%	42000	75%	31500
22	GAMMA CAMARA	1	42000	100%	42000	75%	31500
23	LASER	1	23000	100%	23000	75%	17250
24	LITOTRIPTOR	1	25000	100%	25000	75%	18750
25	LOKOMAT ROBOT	1	250	100%	250	75%	187.5
36	ULTRASONIDO	1	220	100%	220	75%	165
37	ULTRASONIDO	1	220	100%	220	75%	165
38	ULTRASONIDO	1	220	100%	220	75%	165
40	INTENSIFICADOR DE IMAGEN	1	2500	100%	2500	50%	1250
41	MESA DE ANGIOGRAFO	1	540	100%	540	50%	270
42	MESA DE ANGIOGRAFO	1	540	100%	540	50%	270
43	DIGITALIZADOR DE IMAGEN	1	1320	100%	1320	50%	660
44	ECÓGRAFO	1	1000	100%	1000	50%	500
45	INTENSIFICADOR DE IMAGEN EN C	1	2500	100%	2500	50%	1250
46	INTENSIFICADOR DE IMAGEN EN C	1	12500	100%	12500	50%	6250
47	TOMÓGRAFO SOMATON EMOTION I	1	34000	100%	34000	50%	17000
48	MÁQUINA DE ANESTESIA	1	350	100%	350	50%	175
49	LÁMPARA CIELÍTICA	1	300	100%	300	50%	150
50	LASER	1	100	100%	100	50%	50
51	LASER	1	100	100%	100	50%	50
52	LASER	1	100	100%	100	50%	50
53	PEM	1	25000	100%	25000	45%	11250
57	RAYOS X PORTÁTIL	1	15000	100%	15000	25%	3750
58	AUTOCLAVE	1	2200	100%	2200	100%	2200
59	AUTOCLAVE	1	2200	100%	2200	100%	2200
60	ESTERILIZADOR STERRAD	1	3400	100%	3400	100%	3400
61	ESTERILIZADOR STERRAD	1	3400	100%	3400	100%	3400

Figura 1. 12. Estudio de carga y demanda del transformador TP-1, parte 1

62	Lámpara Cielítica 1		1	220	100%	220	100%	220
63	Lámpara Cielítica 1		1	220	100%	220	100%	220
64	Lámpara Cielítica 1		1	220	100%	220	100%	220
65	Lámpara Cielítica 1		1	220	100%	220	100%	220
66	Lámpara Cielítica 1		1	220	100%	220	100%	220
67	Lámpara Cielítica 1		1	220	100%	220	100%	220
68	Lámpara Cielítica 1		1	220	100%	220	100%	220
69	Lámpara Cielítica 1		1	220	100%	220	100%	220
70	Lámpara Cielítica 1		1	220	100%	220	100%	220
71	Lámpara Cielítica 1		1	220	100%	220	100%	220
72	Lámpara Cielítica 1		1	220	100%	220	100%	220
73	Lámpara Cielítica 1		1	220	100%	220	100%	220
74	Lámpara Cielítica 2		1	220	100%	220	100%	220
75	Lámpara Cielítica 2		1	220	100%	220	100%	220
76	Lámpara Cielítica 2		1	220	100%	220	100%	220
77	Lámpara Cielítica 2		1	220	100%	220	100%	220
78	Lámpara Cielítica 2		1	220	100%	220	100%	220
79	Lámpara Cielítica 2		1	220	100%	220	100%	220
80	Lámpara Cielítica 2		1	220	100%	220	100%	220
81	Lámpara Cielítica 2		1	220	100%	220	100%	220
82	Lámpara Cielítica 2		1	220	100%	220	100%	220
83	Lámpara Cielítica 2		1	220	100%	220	100%	220
84	Lámpara Cielítica 2		1	220	100%	220	100%	220
85	Lámpara Cielítica 2		1	220	100%	220	100%	220
86	LASER		1	250	100%	250	50%	125
87	LASER		1	250	100%	250	50%	125
88	RAYOS X PORTÁTIL		1	15000	100%	15000	50%	7500
89	INTENSIFICADOR DE IMAGEN ARCO		1	2500	100%	2500	50%	1250
90	INTENSIFICADOR DE IMAGEN ARCO		1	2500	100%	2500	50%	1250
91	RAYOS X PORTÁTIL		1	15000	100%	15000	50%	7500
92	AUTOCLAVE		1	2200	100%	2200	50%	1100
93	Lámpara Cielítica 1		1	220	100%	220	100%	220
94	Lámpara Cielítica 1		1	220	100%	220	100%	220
95	Lámpara Cielítica 1		1	220	100%	220	100%	220
96	Lámpara Cielítica 1		1	220	100%	220	100%	220
97	Lámpara Cielítica 2		1	220	100%	220	100%	220
98	Lámpara Cielítica 2		1	220	100%	220	100%	220
99	Lámpara Cielítica 2		1	220	100%	220	100%	220
100	Lámpara Cielítica 2		1	220	100%	220	100%	220
101	GREEN LASER		1	600	100%	600	50%	300
102	DA VINCI		1	1000	100%	1000	50%	500
103	LAVADORA DESINFECTADORA SECA		1	600	100%	600	50%	300
104	CAMINADORA ELECTRICA		1	2200	100%	2200	50%	1100
105	CAMINADORA ELECTRICA		1	2200	100%	2200	50%	1100
106	CAMINADORA ELECTRICA		1	2200	100%	2200	50%	1100
107	ULTRASONIDO		1	1000	100%	1000	50%	500
108	MÁQUINA DE ÓSMOSIS		1	3000	100%	3000	50%	1500
109	RAYOS X		1	15000	100%	15000	50%	7500
TOTAL						1186695		1020917.5

ESTUDIO DE CARGA Y DEMANDA							
CÁMARA:				CT-03			
TRANSFORMADOR:				TP-18			
ACTIVIDAD TIPO:		HOSPITAL		ATENCION HOSPITALARIA			
LOCALIZACION:		18 DE SEPTIEMBRE Y UNIVERSITARIA					
USUARIO TIPO:		INDUSTRIAL					
NUMERO DE USUARIOS:		3000					
PLANILLAS PARA LA DETERMINACION DE DEMANDAS UNITARIAS DE DISEÑO							
ITEM	APARATOS ELECTRICOS Y ALUMBRADO			FFUn(%)	CIR(W)	FSn(%)	DMU(W)
	DESCRIPCION	CANT	Pn(W)	%	(W)	(%)	(W)
1	Puntos de tomacorrientes reguladas	756	200	100%	151200	50%	75600
2	luminaria panel led	2000	50	100%	100000	90%	90000
3	Puntos de tomacorrientes normales	1400	150	100%	210000	50%	105000
4	bombas de infusion	50	50	100%	2500	100%	2500
5	equipo resusitador	15	100	100%	1500	25%	375
6	servidores y switch	25	125	100%	3125	100%	3125
	TOTAL				468325		276600
Potencia Total Instalada (KW)	468.33						
Potencia Instalada (KW)	276.60						
Factor de potencia:	0.92						
DMU promedio (KVA):	300.65						
Ti (%):	-						
(1+Ti/100)^10(proyeccion)	1.02						
Dmax(coincidente)	1.00						
N	1.00						
M	1.00						
FD(diversidad)	1.00						
DMUp (KVA):	306.67						
DEMANDA CALCULADA	306.67						
<div>Factor de demanda: FDM=[DMU(w) / CIR (w)]---0<FMD<0.60.59 Demanda Requerida:300.00 Kva</div>							

Figura 1. 14. Estudio de carga y demanda del transformador TP-18

ANEXO 2: Script del método de zonas y ramas, para el sistema sin mejoras

```
%Programa para realizar el estudio de confiabilidad por el
%el método de zonas y ramas del Sistema Base
%El programa genera un archivo de texto con los resultados
close;
clear;
clc;
%Datos iniciales
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%Tasas de Falla%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%d = Tasas de falla (fallas/año)
%CB1= interruptor 1; breaker > 600[V]
%CBn= interruptor 2-24; breaker 0-600[V]
%T = transformador T1-T7; transformador <10[MVA]
%B1= barra principal; >600[V]
%Bn= barras 2-8; <600[V]
dCB1=0.0176;
dCBn=0.042;
dTantiguo=0.0060;%Transformadores >25 años
dB1=0.001917;
dBn=0.000802;
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%Horas fuera de servicio%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%r = horas / falla
rCB1=10.6;
rCBn=4.7;
rT=79.3;
rB1=36;
rBn=27;
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%Tasas de fallo Alimentador%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
ds=2.7; %[fallas/año] alimentador
rs=1.25; %[horas/fallo] alimentador

%Determinar la tasa de fallo de las 25 zonas presentes en el sistema
%Zona1
d11=ds+0.5*dCB1;%Rama1
%Zona2
d21=0.5*dCB1+dB1+0.5*7*dCBn;%Rama1
%Zona3
d31=0.5*dCBn+dTantiguo+0.5*dCBn;%Rama1
d32=0.5*dCBn+dTantiguo+0.5*dCBn;%Rama2
d33=0.5*dCBn+dTantiguo+0.5*dCBn;%Rama3
d34=0.5*dCBn+dTantiguo+0.5*dCBn;%Rama4
d35=0.5*dCBn+dTantiguo+0.5*dCBn;%Rama5
d36=0.5*dCBn+dTantiguo+0.5*dCBn;%Rama6
d37=0.5*dCBn+dTantiguo+0.5*dCBn;%Rama7
%Zona4
d41=0.5*dCBn+dBn+0.5*dCBn;%Rama1
d42=0.5*dCBn+dBn+0.5*dCBn;%Rama2
d43=0.5*dCBn+dBn+0.5*2*dCBn;%Rama3
d44=0.5*dCBn+dBn+0.5*dCBn;%Rama4
d45=0.5*dCBn+dBn+0.5*dCBn;%Rama5
d46=0.5*dCBn+dBn+0.5*2*dCBn;%Rama6
d47=0.5*dCBn+dBn+0.5*dCBn;%Rama7
%Zona5
d51=0.5*dCBn;%Rama1
d52=0.5*dCBn;%Rama2
d53=0.5*dCBn;%Rama3
d54=0.5*dCBn;%Rama4
d55=0.5*dCBn;%Rama5
```

```

d56=0.5*dCBn;%Rama6
d57=0.5*dCBn;%Rama7
d58=0.5*dCBn;%Rama8
d59=0.5*dCBn;%Rama9

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%Matriz
FZB%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
FZB=[d11 d21 d31 d32 d33 d34 d35 d36 d37 d41 d42 d43 d44 d45 d46 d47
d51 d52 d53 d54 d55 d56 d57 d58 d59];

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%Indice
horas/falla%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%Determinar la tasa de fallo de las 25 zonas presentes en el sistema
%indice dr [horas/fallo]
%Zona1
dr11=ds*rs+0.5*dCB1*rCB1;%Rama1
%Zona2
dr21=0.5*dCB1*rCB1+dB1*rB1+0.5*7*dCBn*rCBn;%Rama1
%Zona3
dr31=0.5*dCBn*rCBn+dTantiguo*rT+0.5*dCBn*rCBn;%Rama1
dr32=0.5*dCBn*rCBn+dTantiguo*rT+0.5*dCBn*rCBn;%Rama2
dr33=0.5*dCBn*rCBn+dTantiguo*rT+0.5*dCBn*rCBn;%Rama3
dr34=0.5*dCBn*rCBn+dTantiguo*rT+0.5*dCBn*rCBn;%Rama4
dr35=0.5*dCBn*rCBn+dTantiguo*rT+0.5*dCBn*rCBn;%Rama5
dr36=0.5*dCBn*rCBn+dTantiguo*rT+0.5*dCBn*rCBn;%Rama6
dr37=0.5*dCBn*rCBn+dTantiguo*rT+0.5*dCBn*rCBn;%Rama7
%Zona4
dr41=0.5*dCBn*rCBn+dBn*rBn+0.5*dCBn*rCBn;%Rama1
dr42=0.5*dCBn*rCBn+dBn*rBn+0.5*dCBn*rCBn;%Rama2
dr43=0.5*dCBn*rCBn+dBn*rBn+0.5*2*dCBn*rCBn;%Rama3
dr44=0.5*dCBn*rCBn+dBn*rBn+0.5*dCBn*rCBn;%Rama4
dr45=0.5*dCBn*rCBn+dBn*rBn+0.5*dCBn*rCBn;%Rama5
dr46=0.5*dCBn*rCBn+dBn*rBn+0.5*2*dCBn*rCBn;%Rama6
dr47=0.5*dCBn*rCBn+dBn*rBn+0.5*dCBn*rCBn;%Rama7
%Zona5
dr51=0.5*dCBn*rCBn;%Rama1
dr52=0.5*dCBn*rCBn;%Rama2
dr53=0.5*dCBn*rCBn;%Rama3
dr54=0.5*dCBn*rCBn;%Rama4
dr55=0.5*dCBn*rCBn;%Rama5
dr56=0.5*dCBn*rCBn;%Rama6
dr57=0.5*dCBn*rCBn;%Rama7
dr58=0.5*dCBn*rCBn;%Rama8
dr59=0.5*dCBn*rCBn;%Rama9

DR=[dr11 dr21 dr31 dr32 dr33 dr34 dr35 dr36 dr37 dr41 dr42 dr43 dr44
dr45 dr46 dr47 dr51 dr52 dr53 dr54 dr55 dr56 dr57 dr58 dr59];

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%Indice fuera de revicio
horas/año%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%Determinar las horas fuera de servicio anuales por zona 25 zonas
presentes
%en el sistema
%indice r [horas/año]
%Zona1
r11=dr11/d11;%Rama1
%Zona2
r21=dr21/d21;%Rama1

```

```

%Zona3
r31=dr31/d31;%Rama1
r32=dr32/d32;%Rama2
r33=dr33/d33;%Rama3
r34=dr34/d34;%Rama4
r35=dr35/d35;%Rama5
r36=dr36/d36;%Rama6
r37=dr37/d37;%Rama7
%Zona4
r41=dr41/d41;%Rama1
r42=dr42/d42;%Rama2
r43=dr43/d43;%Rama3
r44=dr44/d44;%Rama4
r45=dr45/d45;%Rama5
r46=dr46/d46;%Rama6
r47=dr47/d47;%Rama7
%Zona5
r51=dr51/d51;%Rama1
r52=dr52/d52;%Rama2
r53=dr53/d53;%Rama3
r54=dr54/d54;%Rama4
r55=dr55/d55;%Rama5
r56=dr56/d56;%Rama6
r57=dr57/d57;%Rama7
r58=dr58/d58;%Rama8
r59=dr59/d59;%Rama9

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%Matriz
Rw%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
Rw=[r11 r21 r31 r32 r33 r34 r35 r36 r37 r41 r42 r43 r44 r45 r46 r47
r51 r52 r53 r54 r55 r56 r57 r58 r59];

```

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%Matriz
RIA%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%q = indice de probabilidad de que el interruptor no reconozca ni
despeje
%una falla permanete dentro de su sona
%Se asume que los breakers son ideles por lo que q=0 para todos los
%interruptores
%El valor de q debe estar entre 0<q<1
%Zona2
q21=0;%Rama 1
%Zona3
q31=0;%Rama 1
q32=0;%Rama 2
q33=0;%Rama 3
q34=0;%Rama 4
q35=0;%Rama 5
q36=0;%Rama 6
q37=0;%Rama 7
%Zona4
q41=0;%Rama 1
q42=0;%Rama 2
q43=0;%Rama 3
q44=0;%Rama 4
q45=0;%Rama 5
q46=0;%Rama 6
q47=0;%Rama 7
%Zona5
q51=0;%Rama 1

```

```

q52=0;%Rama 2
q53=0;%Rama 3
q54=0;%Rama 4
q55=0;%Rama 5
q56=0;%Rama 6
q57=0;%Rama 7
q58=0;%Rama 8
q59=0;%Rama 9

```

%Generación de matriz RIA

```

RIA=[1 q21 q31*q21 q32*q21 q33*q21 q34*q21 q35*q21 q36*q21 q37*q21
q41*q31*q21 q42*q32*q21 q43*q33*q21 q44*q34*q21 q45*q35*q21
q46*q36*q21 q47*q37*q21 q51*q41*q31*q21 q52*q42*q32*q21
q53*q43*q33*q21 q54*q44*q34*q21 q55*q45*q35*q21 q56*q46*q36*q21
q57*q47*q37*q21 q58*q48*q38*q21 q59*q49*q39*q21;
1 1 q31 q32 q33 q34 q35 q36 q37
q41*q31 q42*q32 q43*q33 q44*q34 q45*q35 q46*q36
q47*q37 q51*q41*q31 q52*q42*q32 q53*q43*q33
q54*q44*q34 q55*q45*q35 q56*q46*q36
q57*q47*q37;
1 1 1 q32 q33 q34 q35 q36 q37
q41 q42*q32 q43*q33 q44*q34 q45*q35 q46*q36
q47*q37 q51*q41 q52*q42*q32 q53*q43*q33
q54*q44*q34 q55*q45*q35 q56*q46*q36
q57*q47*q37;
1 1 q31 1 q33 q34 q35 q36 q37
q41*q31 q42 q43*q33 q44*q34 q45*q35 q46*q36
q47*q37 q51*q41*q31 q52*q42 q53*q43*q33
q54*q44*q34 q55*q45*q35 q56*q46*q36
q57*q47*q37;
1 1 q31 q32 1 q34 q35 q36 q37
q41*q31 q42*q32 q43 q44*q34 q45*q35 q46*q36
q47*q37 q51*q41*q31 q52*q42*q32 q53*q43 q54*q44
q55*q45*q35 q56*q46*q36 q57*q47*q37;
1 1 q31 q32 q33 1 q35 q36 q37
q41*q31 q42*q32 q43*q33 q44 q45*q35 q46*q36
q47*q37 q51*q41*q31 q52*q42*q32 q53*q43*q33
q54*q44 q55*q45*q35 q56*q46*q36
q57*q47*q37;
1 1 q31 q32 q33 q34 1 q36 q37
q41*q31 q42*q32 q43*q33 q44*q34 q45 q46*q36
q47*q37 q51*q41*q31 q52*q42*q32 q53*q43*q33
q54*q44*q34 q55*q45 q56*q46*q36
q57*q47*q37;
1 1 q31 q32 q33 q34 q35 1 q37
q41*q31 q42*q32 q43*q33 q44*q34 q45*q35 q46
q47*q37 q51*q41*q31 q52*q42*q32 q53*q43*q33
q54*q44*q34 q55*q45*q35 q56*q46
q57*q47*q37;
1 1 q31 q32 q33 q34 q35 q36 1
q41*q31 q42*q32 q43*q33 q44*q34 q45*q35 q46*q36
q47 q51*q41*q31 q52*q42*q32 q53*q43*q33
q54*q44*q34 q55*q45*q35 q56*q46*q36
q57*q47;
1 1 1 q32 q33 q34 q35 q36 q37 1
q42*q32 q43*q33 q44*q34 q45*q35 q46*q36 q47*q37
q51 q52*q42*q32 q53*q43*q33 q54*q44*q34
q55*q45*q35 q56*q46*q36
q57*q47;

```

1	1	q31	1	q33	q34	q35	q36	q37
q41*q31	1		q43*q33	q44*q34	q45*q35	q46*q36		
q47*q37	q51*q41*q31	q52	q53*q43*q33					
q54*q43*q33	q55*q44*q34	q56*q45*q35	q57*q46*q36					
q58*q46*q36	q59*q47*q37;							
1	1	q31	q32	1	q34	q35	q36	q37
q41*q31	q42*q32	1	q44*q34	q45*q35	q46*q36			
q47*q37	q51*q41*q31	q52*q42*q32	q53	q54				
q55*q44*q34	q56*q45*q35	q57*q46*q36	q58*q46*q36					
q59*q47*q37;								
1	1	q31	q32	q33	1	q35	q36	q37
q41*q31	q42*q32	q43*q33	1	q45*q35	q46*q36			
q47*q37	q51*q41*q31	q52*q42*q32	q53*q43*q33					
q54*q43*q33	q55	q56*q45*q35	q57*q46*q36					
q58*q46*q36	q59*q47*q37;							
1	1	q31	q32	q33	q34	1	q36	q37
q41*q31	q42*q32	q43*q33	q44*q34	1	q46*q36			
q47*q37	q51*q41*q31	q52*q42*q32	q53*q43*q33					
q54*q43*q33	q55*q44*q34	q56	q57*q46*q36					
q58*q46*q36	q59*q47*q37;							
1	1	q31	q32	q33	q34	q35	1	q37
q41*q31	q42*q32	q43*q33	q44*q34	q45*q35	1	q37		
q47*q37	q51*q41*q31	q52*q42*q32	q53*q43*q33					
q54*q43*q33	q55*q44*q34	q56*q45*q35	q57	q58				
q59*q47*q37;								
1	1	q31	q32	q33	q34	q35	q36	1
q41*q31	q42*q32	q43*q33	q44*q34	q45*q35	q46*q36	1	q46*q36	
1	q51*q41*q31	q52*q42*q32	q53*q43*q33					
q54*q43*q33	q55*q44*q34	q56*q45*q35	q57*q46*q36					
q58*q46*q36	q59;							
1	1	1	q32	q33	q34	q35	q36	q37
q42*q32	q43*q33	q44*q34	q45*q35	q46*q36	q47*q37			
1	q52*q42*q32	q53*q43*q33	q54*q43*q33					
q55*q44*q34	q56*q45*q35	q57*q46*q36	q58*q46*q36					
q59*q47*q37;								
1	1	q31	1	q33	q34	q35	q36	q37
q41*q31	1	q43*q33	q44*q34	q45*q35	q46*q36			
q47*q37	q51*q41*q31	1	q53*q43*q33					
q54*q43*q33	q55*q44*q34	q56*q45*q35	q57*q46*q36					
q58*q46*q36	q59*q47*q37;							
1	1	q31	q32	1	q34	q35	q36	q37
q41*q31	q42*q32	1	q44*q34	q45*q35	q46*q36			
q47*q37	q51*q41*q31	q52*q42*q32	1	q54				
q55*q44*q34	q56*q45*q35	q57*q46*q36	q58*q46*q36					
q59*q47*q37;								
1	1	q31	q32	1	q34	q35	q36	q37
q41*q31	q42*q32	1	q44*q34	q45*q35	q46*q36			
q47*q37	q51*q41*q31	q52*q42*q32	q53	1				
q55*q44*q34	q56*q45*q35	q57*q46*q36	q58*q46*q36					
q59*q47*q37;								
1	1	q31	q32	q33	1	q35	q36	q37
q41*q31	q42*q32	q43*q33	1	q45*q35	q46*q36			
q47*q37	q51*q41*q31	q52*q42*q32	q53*q43*q33					
q54*q43*q33	1	q56*q45*q35	q57*q46*q36					
q58*q46*q36	q59*q47*q37;							
1	1	q31	q32	q33	q34	1	q36	q37
q41*q31	q42*q32	q43*q33	q44*q34	1	q46*q36			
q47*q37	q51*q41*q31	q52*q42*q32	q53*q43*q33					
q54*q43*q33	q55*q44*q34	1	q57*q46*q36					
q58*q46*q36	q59*q47*q37;							

```

1 1 q31 q32 q33 q34 q35 1 q37
q41*q31 q42*q32 q43*q33 q44*q34 q45*q35 1
q47*q37 q51*q41*q31 q52*q42*q32 q53*q43*q33
q54*q43*q33 q55*q44*q34 q56*q45*q35 1 q58
q59*q47*q37;

1 1 q31 q32 q33 q34 q35 1 q37
q41*q31 q42*q32 q43*q33 q44*q34 q45*q35 1
q47*q37 q51*q41*q31 q52*q42*q32 q53*q43*q33
q54*q43*q33 q55*q44*q34 q56*q45*q35 q57 1
q59*q47*q37;

1 1 q31 q32 q33 q34 q35 q36 1
q41*q31 q42*q32 q43*q33 q44*q34 q45*q35 q46*q36
1 q51*q41*q31 q52*q42*q32 q53*q43*q33
q54*q43*q33 q55*q44*q34 q56*q45*q35 q57*q46*q36
q58*q46*q36 1];

```

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
zonas%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
dT=(RIA*FZB');%Tasa de falla anual por zona respecto de todo el
sistema [fallas/año]
drT=(RIA*FZB').*Rw';%Tiempo de duracion por falla por zona respecto
de todo el sistema

```

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%Presentación de
resultados%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
aux1=[1 2 3 3 3 3 3 3 3 4 4 4 4 4 4 4 5 5 5 5 5 5 5 5 5];
aux2=[1 1 1 2 3 4 5 6 7 1 2 3 4 5 6 7 1 2 3 4 5 6 7 8 9];
%Imprimir el resultado en un archivo de texto
fileID=fopen('ZoneBranchReportSistemaBase.txt','w');
fprintf(fileID,'REPORTE ESTUDIO DE CONFIABILIDAD POR EL MÉTODO DE
ZONAS Y RAMAS SISTEMA BASE\n');
fprintf(fileID,'-----\n\n');
fprintf(fileID,'d => tasa de falla de los equipos de la
zona(i,j)\n');
fprintf(fileID,'dr => tiempo de duracaión anual de la desconexión de
los equipos de la zona(i,j)\n');
fprintf(fileID,'r => tiempo de duracaión la desconexión debido a una
falla de la zona(i,j)\n\n');
fprintf(fileID,'Zona d [fallas/año] dr [horas/año] r
[horas/falla] \n');
fprintf(fileID,'-----
---\n');
for l=1:25
    fprintf(fileID,'S(%d,%d) %0.04f %0.04f
%0.04f\n',aux1(l),aux2(l),FZB(l),DR(l),Rw(l));
end
fprintf(fileID,'\n\n');
fprintf(fileID,'dT => tasa de falla total de los equipos de la
zona(i,j)\n');
fprintf(fileID,'drT => tiempo de duracaión anual total de la
desconexión de los equipos de la zona(i,j)\n\n');
fprintf(fileID,'Zona dT [fallas/año] drT [horas/año]\n');
fprintf(fileID,'-----\n');
for l=1:25
    fprintf(fileID,'S(%d,%d) %0.04f
%0.04f\n',aux1(l),aux2(l),dT(l),drT(l));
end

fprintf(fileID,'\n\n');

```

```

fprintf(fileID, '
MATRIZ RIA
\n');
fprintf(fileID, 'z/k  1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19
20 21 22 23 24 25\n');
fprintf(fileID, '
\n');
for l=1:25
    fprintf(fileID, '%2d|  %d %d %d %d %d %d %d %d %d %d %d %d %d
%d %d %d %d %d %d %d %d %d %d %d
%d\n', l, RIA(1,l), RIA(2,l), RIA(3,l), RIA(4,l), RIA(5,l), RIA(6,l), RIA(7,
l), RIA(8,l), RIA(9,l), RIA(10,l), RIA(11,l), RIA(12,l), RIA(13,l), RIA(14,
l), RIA(15,l), RIA(16,l), RIA(17,l), RIA(18,l), RIA(19,l), RIA(20,l), RIA(2
1,l), RIA(22,l), RIA(23,l), RIA(24,l), RIA(25,l));
end
fclose(fileID);

```


ANEXO 3: Script del método de zonas y ramas, para el sistema con mejoras

```
%Programa para realizar el estudio de confiabilidad por el
%el método de zonas y ramas del Sistema Mejorado
%El programa genera un archivo de texto con los resultados
close;
clear;
clc;
%Datos iniciales
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%Tasas de Falla%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%d = Tasas de falla (fallas/año)
%CB1= interruptor 1; breaker > 600[V]
%CBn= interruptor 2-24; breaker 0-600[V]
%T = transformador T1-T7; transformador <10[MVA]
%B1= barra principal; >600[V]
%Bn= barras 2-8; <600[V]
dCB1=0.0176;
dCBn=0.042;
dTnuevo=0.0053;%Transformadores <25 años
dTantiguo=0.0060;%Transformadores >25 años
dB1=0.001917;
dBn=0.000802;
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%Horas fuera de servicio%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%r = horas / falla
rCB1=10.6;
rCBn=4.7;
rT=79.3;
rB1=36;
rBn=27;
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%Tasas de fallo Alimentador%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
ds=2.7;%[fallas/año] alimentador
rs=1.25;%[horas/fallo] alimentador

%Determinar la tasa de fallo de las 25 zonas presentes en el sistema
%Zona1
d11=ds+0.5*dCB1;%Rama1
%Zona2
d21=0.5*dCB1+dB1+0.5*7*dCBn;%Rama1
%Zona3
d31=0.5*dCBn+dBn+0.5*dCBn;%Rama1
d32=0.5*dCBn+dBn+0.5*dCBn;%Rama2
d33=0.5*dCBn+dBn+0.5*dCBn;%Rama3
d34=0.5*dCBn+dBn+0.5*dCBn;%Rama4
d35=0.5*dCBn+dBn+0.5*dCBn;%Rama5
d36=0.5*dCBn+dBn+0.5*dCBn;%Rama6
d37=0.5*dCBn+dBn+0.5*dCBn;%Rama7
%Zona4
d41=0.5*dCBn+dBn+0.5*dCBn;%Rama1
d42=0.5*dCBn+dBn+0.5*dCBn;%Rama2
d43=0.5*dCBn+dBn+0.5*2*dCBn;%Rama3
d44=0.5*dCBn+dBn+0.5*dCBn;%Rama4
d45=0.5*dCBn+dBn+0.5*dCBn;%Rama5
d46=0.5*dCBn+dBn+0.5*2*dCBn;%Rama6
d47=0.5*dCBn+dBn+0.5*dCBn;%Rama7
%Zona5
d51=0.5*dCBn;%Rama1
d52=0.5*dCBn;%Rama2
d53=0.5*dCBn;%Rama3
```

```

d54=0.5*dCBn;%Rama4
d55=0.5*dCBn;%Rama5
d56=0.5*dCBn;%Rama6
d57=0.5*dCBn;%Rama7
d58=0.5*dCBn;%Rama8
d59=0.5*dCBn;%Rama9

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%Matriz
FZB%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
FZB=[d11 d21 d31 d32 d33 d34 d35 d36 d37 d41 d42 d43 d44 d45 d46 d47
d51 d52 d53 d54 d55 d56 d57 d58 d59];

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%Indice
horas/falla%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%Determinar la tasa de fallo de las 25 zonas presentes en el sistema
%indice dr [horas/fallo]
%Zona1
dr11=ds*rs+0.5*dCB1*rCB1;%Rama1
%Zona2
dr21=0.5*dCB1*rCB1+dB1*rB1+0.5*7*dCBn*rCBn;%Rama1
%Zona3
dr31=0.5*dCBn*rCBn+dTantiguo*rT+0.5*dCBn*rCBn;%Rama1
dr32=0.5*dCBn*rCBn+dTantiguo*rT+0.5*dCBn*rCBn;%Rama2
dr33=0.5*dCBn*rCBn+dTantiguo*rT+0.5*dCBn*rCBn;%Rama3
dr34=0.5*dCBn*rCBn+dTantiguo*rT+0.5*dCBn*rCBn;%Rama4
dr35=0.5*dCBn*rCBn+dTantiguo*rT+0.5*dCBn*rCBn;%Rama5
dr36=0.5*dCBn*rCBn+dTantiguo*rT+0.5*dCBn*rCBn;%Rama6
dr37=0.5*dCBn*rCBn+dTantiguo*rT+0.5*dCBn*rCBn;%Rama7
%Zona4
dr41=0.5*dCBn*rCBn+dBn*rBn+0.5*dCBn*rCBn;%Rama1
dr42=0.5*dCBn*rCBn+dBn*rBn+0.5*dCBn*rCBn;%Rama2
dr43=0.5*dCBn*rCBn+dBn*rBn+0.5*2*dCBn*rCBn;%Rama3
dr44=0.5*dCBn*rCBn+dBn*rBn+0.5*dCBn*rCBn;%Rama4
dr45=0.5*dCBn*rCBn+dBn*rBn+0.5*dCBn*rCBn;%Rama5
dr46=0.5*dCBn*rCBn+dBn*rBn+0.5*2*dCBn*rCBn;%Rama6
dr47=0.5*dCBn*rCBn+dBn*rBn+0.5*dCBn*rCBn;%Rama7
%Zona5
dr51=0.5*dCBn*rCBn;%Rama1
dr52=0.5*dCBn*rCBn;%Rama2
dr53=0.5*dCBn*rCBn;%Rama3
dr54=0.5*dCBn*rCBn;%Rama4
dr55=0.5*dCBn*rCBn;%Rama5
dr56=0.5*dCBn*rCBn;%Rama6
dr57=0.5*dCBn*rCBn;%Rama7
dr58=0.5*dCBn*rCBn;%Rama8
dr59=0.5*dCBn*rCBn;%Rama9

DR=[dr11 dr21 dr31 dr32 dr33 dr34 dr35 dr36 dr37 dr41 dr42 dr43 dr44
dr45 dr46 dr47 dr51 dr52 dr53 dr54 dr55 dr56 dr57 dr58 dr59];

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%Indice fuera de revicio
horas/año%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%Determinar las horas fuera de servicio anuales por zona 25 zonas
presentes
%en el sistema
%indice r [horas/año]
%Zona1
r11=dr11/d11;%Rama1

```

```

%Zona2
r21=dr21/d21;%Rama1
%Zona3
r31=dr31/d31;%Rama1
r32=dr32/d32;%Rama2
r33=dr33/d33;%Rama3
r34=dr34/d34;%Rama4
r35=dr35/d35;%Rama5
r36=dr36/d36;%Rama6
r37=dr37/d37;%Rama7
%Zona4
r41=dr41/d41;%Rama1
r42=dr42/d42;%Rama2
r43=dr43/d43;%Rama3
r44=dr44/d44;%Rama4
r45=dr45/d45;%Rama5
r46=dr46/d46;%Rama6
r47=dr47/d47;%Rama7
%Zona5
r51=dr51/d51;%Rama1
r52=dr52/d52;%Rama2
r53=dr53/d53;%Rama3
r54=dr54/d54;%Rama4
r55=dr55/d55;%Rama5
r56=dr56/d56;%Rama6
r57=dr57/d57;%Rama7
r58=dr58/d58;%Rama8
r59=dr59/d59;%Rama9

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%Matriz
Rw%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
Rw=[r11 r21 r31 r32 r33 r34 r35 r36 r37 r41 r42 r43 r44 r45 r46 r47
r51 r52 r53 r54 r55 r56 r57 r58 r59];

```

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%Matriz
RIA%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%q = indice de probabilidad de que el interruptor no reconozca ni
despeje
%una falla permanete dentro de su sona
%Se asume que los breakers son ideles por lo que q=0 para todos los
%interruptores
%El valor de q debe estar entre 0<q<1
%Zona2
q21=0;%Rama 1
%Zona3
q31=0;%Rama 1
q32=0;%Rama 2
q33=0;%Rama 3
q34=0;%Rama 4
q35=0;%Rama 5
q36=0;%Rama 6
q37=0;%Rama 7
%Zona4
q41=0;%Rama 1
q42=0;%Rama 2
q43=0;%Rama 3
q44=0;%Rama 4
q45=0;%Rama 5
q46=0;%Rama 6
q47=0;%Rama 7

```

%Zona5

q51=0;%Rama 1
q52=0;%Rama 2
q53=0;%Rama 3
q54=0;%Rama 4
q55=0;%Rama 5
q56=0;%Rama 6
q57=0;%Rama 7
q58=0;%Rama 8
q59=0;%Rama 9

%Generación de matriz RIA

```
RIA=[1 q21 q31*q21 q32*q21 q33*q21 q34*q21 q35*q21 q36*q21 q37*q21
q41*q31*q21 q42*q32*q21 q43*q33*q21 q44*q34*q21 q45*q35*q21
q46*q36*q21 q47*q37*q21 q51*q41*q31*q21 q52*q42*q32*q21
q53*q43*q33*q21 q54*q44*q34*q21 q55*q45*q35*q21 q56*q46*q36*q21
q57*q47*q37*q21 q58*q48*q38*q21 q59*q49*q39*q21;
1 1 q31 q32 q33 q34 q35 q36 q37
q41*q31 q42*q32 q43*q33 q44*q34 q45*q35 q46*q36
q47*q37 q51*q41*q31 q52*q42*q32 q53*q43*q33
q54*q44*q34 q55*q45*q35 q56*q46*q36
q57*q47*q37;
1 1 1 q32 q33 q34 q35 q36 q37
q41 q42*q32 q43*q33 q44*q34 q45*q35 q46*q36
q47*q37 q51*q41 q52*q42*q32 q53*q43*q33
q54*q44*q34 q55*q45*q35 q56*q46*q36
q57*q47*q37;
1 1 q31 1 q33 q34 q35 q36 q37
q41*q31 q42 q43*q33 q44*q34 q45*q35 q46*q36
q47*q37 q51*q41*q31 q52*q42 q53*q43*q33
q54*q44*q34 q55*q45*q35 q56*q46*q36
q57*q47*q37;
1 1 q31 q32 1 q34 q35 q36 q37
q41*q31 q42*q32 q43 q44*q34 q45*q35 q46*q36
q47*q37 q51*q41*q31 q52*q42*q32 q53*q43 q54*q43
q55*q44*q34 q56*q45*q35 q57*q46*q36
q58*q47*q37;
1 1 q31 q32 q33 1 q35 q36 q37
q41*q31 q42*q32 q43*q33 q44 q45*q35 q46*q36
q47*q37 q51*q41*q31 q52*q42*q32 q53*q43*q33
q54*q43*q33 q55*q44 q56*q45*q35 q57*q46*q36
q58*q47*q37;
1 1 q31 q32 q33 q34 1 q36 q37
q41*q31 q42*q32 q43*q33 q44*q34 q45 q46*q36
q47*q37 q51*q41*q31 q52*q42*q32 q53*q43*q33
q54*q43*q33 q55*q44*q34 q56*q45 q57*q46*q36
q58*q47*q37;
1 1 q31 q32 q33 q34 q35 1 q37
q41*q31 q42*q32 q43*q33 q44*q34 q45*q35 q46
q47*q37 q51*q41*q31 q52*q42*q32 q53*q43*q33
q54*q43*q33 q55*q44*q34 q56*q45*q35 q57*q46
q58*q47*q37;
1 1 q31 q32 q33 q34 q35 q36 1
q41*q31 q42*q32 q43*q33 q44*q34 q45*q35 q46*q36
q47 q51*q41*q31 q52*q42*q32 q53*q43*q33
q54*q43*q33 q55*q44*q34 q56*q45*q35 q57*q46*q36
q58*q47*q37;
1 1 1 q32 q33 q34 q35 q36 q37 1
q42*q32 q43*q33 q44*q34 q45*q35 q46*q36 q47*q37
q51 q52*q42*q32 q53*q43*q33 q54*q43*q33
```

q55*q44*q34	q56*q45*q35	q57*q46*q36	q58*q46*q36
q59*q47*q37;			
1 1 q31	1 q33	q34 q35	q36 q37
q41*q31	1 q43*q33	q44*q34	q45*q35 q46*q36
q47*q37	q51*q41*q31	q52	q53*q43*q33
q54*q43*q33	q55*q44*q34	q56*q45*q35	q57*q46*q36
q58*q46*q36	q59*q47*q37;		
1 1 q31	q32 1	q34 q35	q36 q37
q41*q31	q42*q32 1	q44*q34	q45*q35 q46*q36
q47*q37	q51*q41*q31	q52*q42*q32	q53 q54
q55*q44*q34	q56*q45*q35	q57*q46*q36	q58*q46*q36
q59*q47*q37;			
1 1 q31	q32 q33	1 q35	q36 q37
q41*q31	q42*q32 q43*q33	1	q45*q35 q46*q36
q47*q37	q51*q41*q31	q52*q42*q32	q53*q43*q33
q54*q43*q33	q55	q56*q45*q35	q57*q46*q36
q58*q46*q36	q59*q47*q37;		
1 1 q31	q32 q33	q34 1	q36 q37
q41*q31	q42*q32 q43*q33	q44*q34	1 q46*q36
q47*q37	q51*q41*q31	q52*q42*q32	q53*q43*q33
q54*q43*q33	q55*q44*q34	q56	q57*q46*q36
q58*q46*q36	q59*q47*q37;		
1 1 q31	q32 q33	q34 q35	1 q37
q41*q31	q42*q32 q43*q33	q44*q34	q45*q35 1
q47*q37	q51*q41*q31	q52*q42*q32	q53*q43*q33
q54*q43*q33	q55*q44*q34	q56*q45*q35	q57 q58
q59*q47*q37;			
1 1 q31	q32 q33	q34 q35	q36 1
q41*q31	q42*q32 q43*q33	q44*q34	q45*q35 q46*q36
1	q51*q41*q31	q52*q42*q32	q53*q43*q33
q54*q43*q33	q55*q44*q34	q56*q45*q35	q57*q46*q36
q58*q46*q36	q59;		
1 1 1	q32 q33	q34 q35	q36 q37
q42*q32	q43*q33 q44*q34	q45*q35	q46*q36 q47*q37
1	q52*q42*q32	q53*q43*q33	q54*q43*q33
q55*q44*q34	q56*q45*q35	q57*q46*q36	q58*q46*q36
q59*q47*q37;			
1 1 q31	1 q33	q34 q35	q36 q37
q41*q31	1 q43*q33	q44*q34	q45*q35 q46*q36
q47*q37	q51*q41*q31	1	q53*q43*q33
q54*q43*q33	q55*q44*q34	q56*q45*q35	q57*q46*q36
q58*q46*q36	q59*q47*q37;		
1 1 q31	q32 1	q34 q35	q36 q37
q41*q31	q42*q32 1	q44*q34	q45*q35 q46*q36
q47*q37	q51*q41*q31	q52*q42*q32	1 q54
q55*q44*q34	q56*q45*q35	q57*q46*q36	q58*q46*q36
q59*q47*q37;			
1 1 q31	q32 1	q34 q35	q36 q37
q41*q31	q42*q32 1	q44*q34	q45*q35 q46*q36
q47*q37	q51*q41*q31	q52*q42*q32	q53
q55*q44*q34	q56*q45*q35	q57*q46*q36	q58*q46*q36
q59*q47*q37;			
1 1 q31	q32 q33	1 q35	q36 q37
q41*q31	q42*q32 q43*q33	1	q45*q35 q46*q36
q47*q37	q51*q41*q31	q52*q42*q32	q53*q43*q33
q54*q43*q33	1	q56*q45*q35	q57*q46*q36
q58*q46*q36	q59*q47*q37;		
1 1 q31	q32 q33	q34 1	q36 q37
q41*q31	q42*q32 q43*q33	q44*q34	1 q46*q36
q47*q37	q51*q41*q31	q52*q42*q32	q53*q43*q33

```

q54*q43*q33      q55*q44*q34      1      q57*q46*q36
q58*q46*q36      q59*q47*q37;
      1      1      q31      q32      q33      q34      q35      1      q37
q41*q31      q42*q32      q43*q33      q44*q34      q45*q35      1
q47*q37      q51*q41*q31      q52*q42*q32      q53*q43*q33
q54*q43*q33      q55*q44*q34      q56*q45*q35      1      q58
q59*q47*q37;
      1      1      q31      q32      q33      q34      q35      1      q37
q41*q31      q42*q32      q43*q33      q44*q34      q45*q35      1
q47*q37      q51*q41*q31      q52*q42*q32      q53*q43*q33
q54*q43*q33      q55*q44*q34      q56*q45*q35      q57      1
q59*q47*q37;
      1      1      q31      q32      q33      q34      q35      q36      1
q41*q31      q42*q32      q43*q33      q44*q34      q45*q35      q46*q36
1      q51*q41*q31      q52*q42*q32      q53*q43*q33
q54*q43*q33      q55*q44*q34      q56*q45*q35      q57*q46*q36
q58*q46*q36      1];

```

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%Cálculo de la tasa de fallo anual de las
zonas%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
dT=(RIA*FZB');%Tasa de falla anual por zona respecto de todo el
sistema [fallas/año]
drT=(RIA*FZB').*Rw';%Tiempo de duracion por falla por zona respecto
de todo el sistema

```

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%Presentación de
resultados%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
aux1=[1 2 3 3 3 3 3 3 3 4 4 4 4 4 4 4 5 5 5 5 5 5 5 5 5];
aux2=[1 1 1 2 3 4 5 6 7 1 2 3 4 5 6 7 1 2 3 4 5 6 7 8 9];
%Imprimir el resultado en un archivo de texto
fileID=fopen('ZoneBranchReportSistemaMejorado.txt','w');
fprintf(fileID,'REPORTE ESTUDIO DE CONFIABILIDAD POR EL MÉTODO DE
ZONAS Y RAMAS SISTEMA MEJORADO\n');
fprintf(fileID,'-----\n\n');
fprintf(fileID,'d => tasa de falla de los equipos de la
zona(i,j)\n');
fprintf(fileID,'dr => tiempo de duración anual de la desconexión de
los equipos de la zona(i,j)\n');
fprintf(fileID,'r => tiempo de duración la desconexión debido a una
falla de la zona(i,j)\n\n');
fprintf(fileID,'Zona   d [fallas/año]   dr [horas/año]   r
[horas/falla] \n');
fprintf(fileID,'-----\n\n');
for l=1:25
    fprintf(fileID,'S(%d,%d)   %0.04f           %0.04f
%0.04f\n',aux1(l),aux2(l),FZB(l),DR(l),Rw(l));
end
fprintf(fileID,'\n\n');
fprintf(fileID,'dT => tasa de falla total de los equipos de la
zona(i,j)\n');
fprintf(fileID,'drT => tiempo de duración anual total de la
desconexión de los equipos de la zona(i,j)\n\n');
fprintf(fileID,'Zona   dT [fallas/año]   drT [horas/año]\n');
fprintf(fileID,'-----\n\n');
for l=1:25
    fprintf(fileID,'S(%d,%d)   %0.04f
%0.04f\n',aux1(l),aux2(l),dT(l),drT(l));
end

```

```

fprintf(fileID, '\n\n');
fprintf(fileID, '
MATRIZ RIA
\n');
fprintf(fileID, 'z/k  1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19
20 21 22 23 24 25\n');
fprintf(fileID, '
\n');
for l=1:25
    fprintf(fileID, '%2d|  %d %d %d %d %d %d %d %d %d %d %d %d %d
%d %d %d %d %d %d %d %d %d %d %d
%d\n', l, RIA(1,l), RIA(2,l), RIA(3,l), RIA(4,l), RIA(5,l), RIA(6,l), RIA(7,
l), RIA(8,l), RIA(9,l), RIA(10,l), RIA(11,l), RIA(12,l), RIA(13,l), RIA(14,
l), RIA(15,l), RIA(16,l), RIA(17,l), RIA(18,l), RIA(19,l), RIA(20,l), RIA(2
1,l), RIA(22,l), RIA(23,l), RIA(24,l), RIA(25,l));
end
fclose(fileID);

```

ANEXO 4: Gráficas de potencia y energía activa, reactiva y aparente obtenidas con el analizador 435-II.

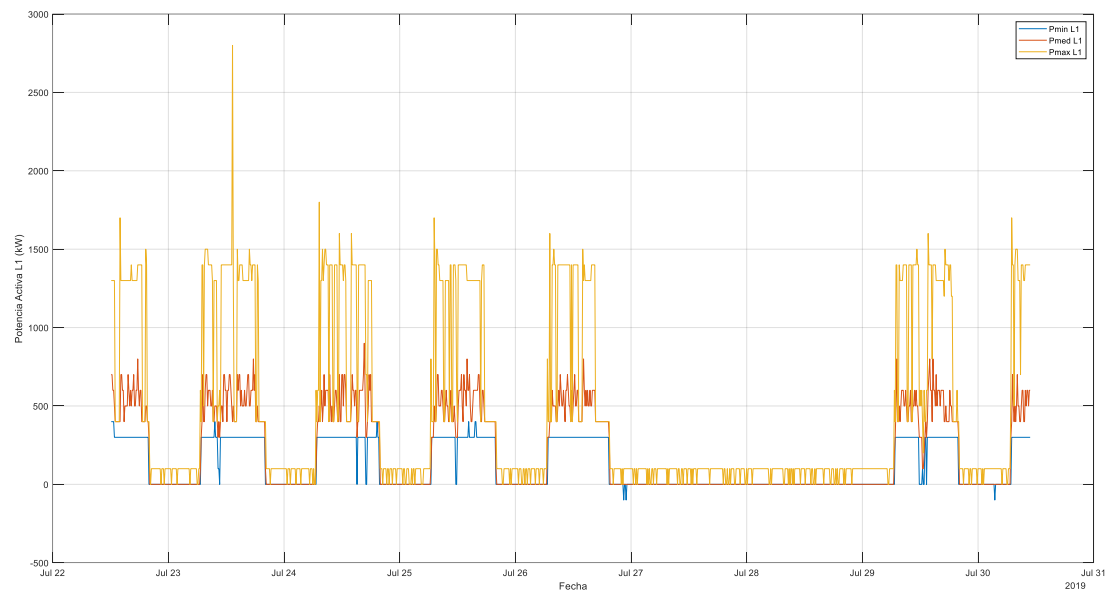


Figura 4. 1. Potencia activa L1

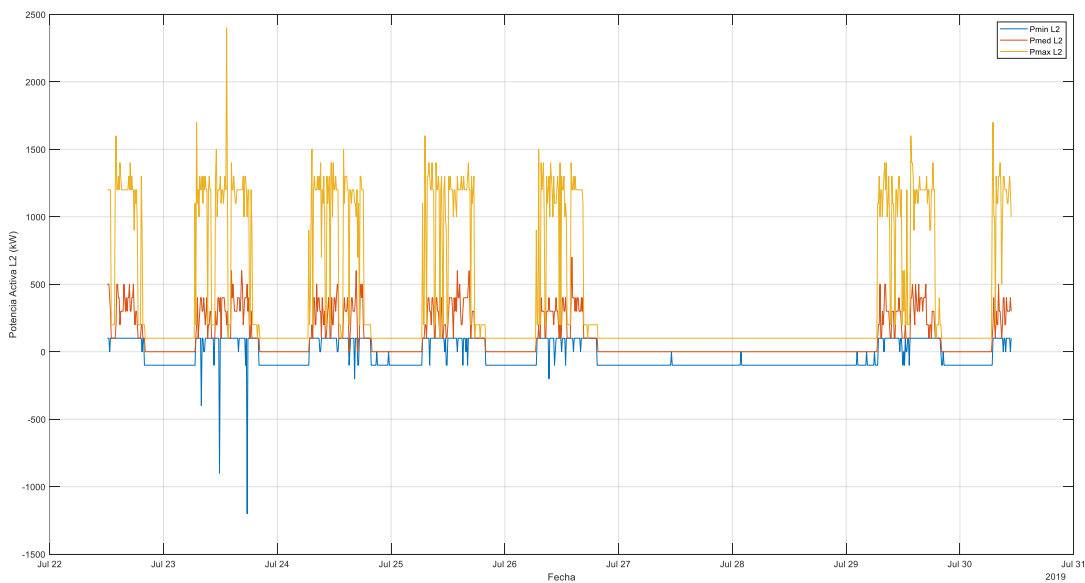


Figura 4. 2. Potencia activa L2

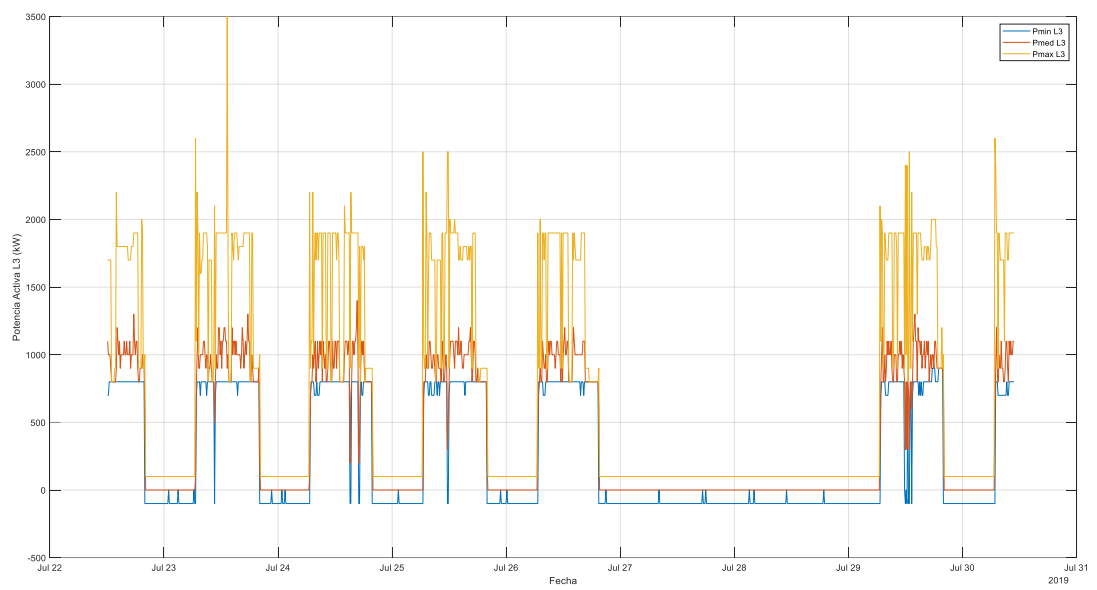


Figura 4. 3. Potencia activa L3

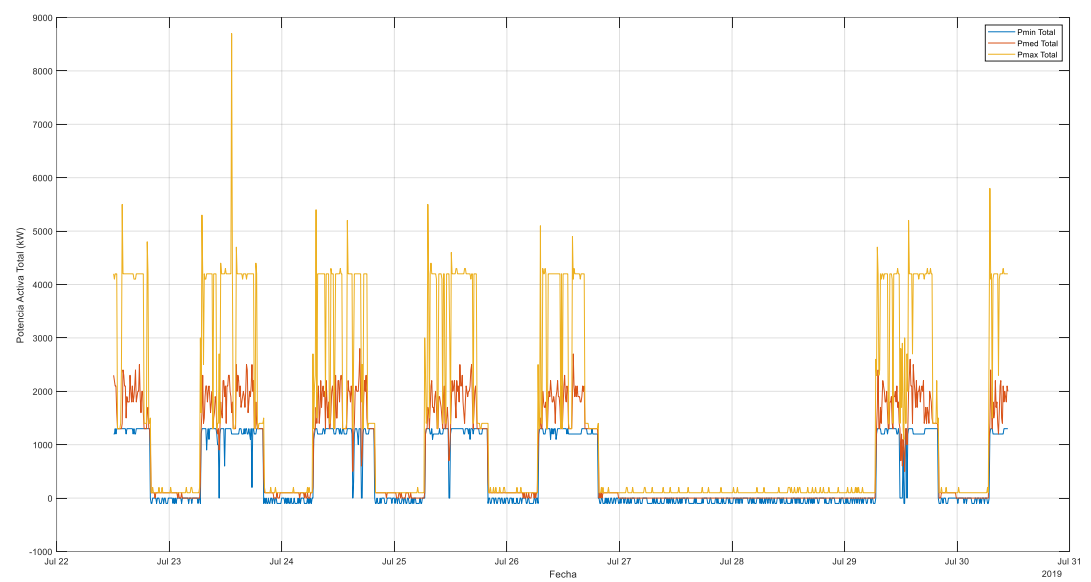


Figura 4. 4. Potencia activa total

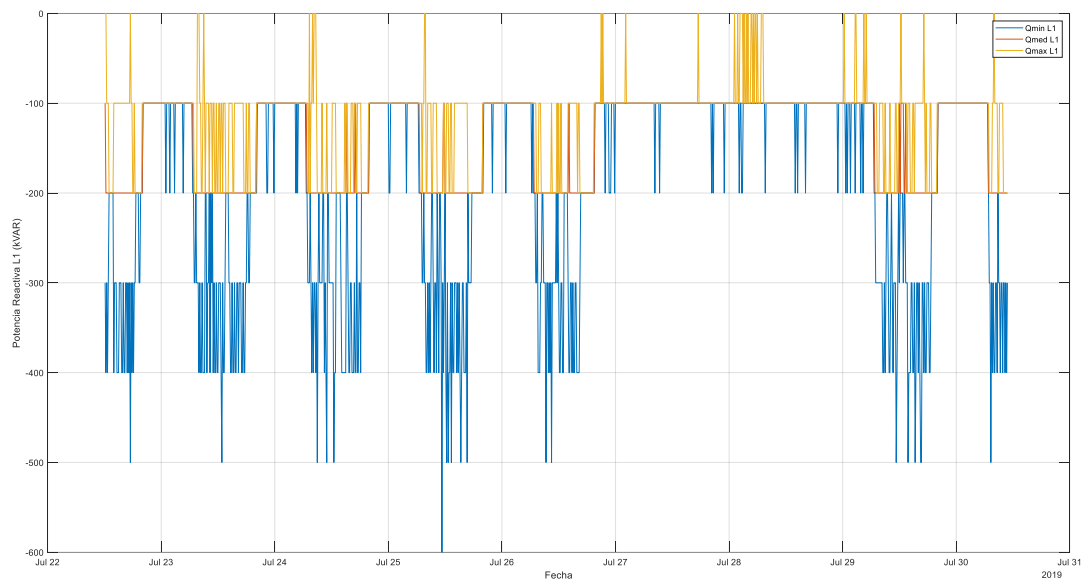


Figura 4. 5. Potencia reactiva L1

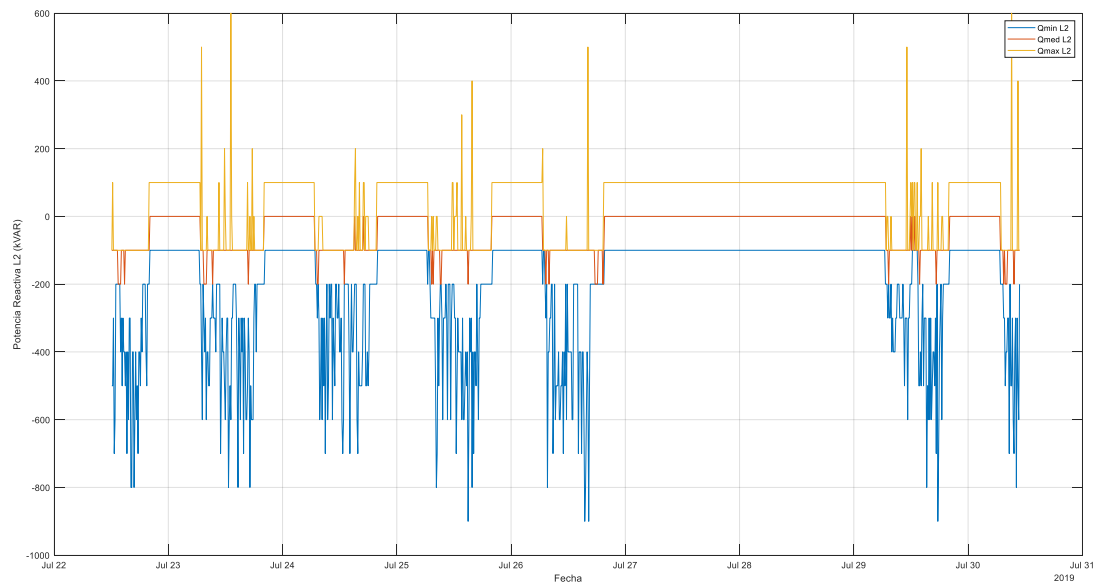


Figura 4. 6. Potencia reactiva L2

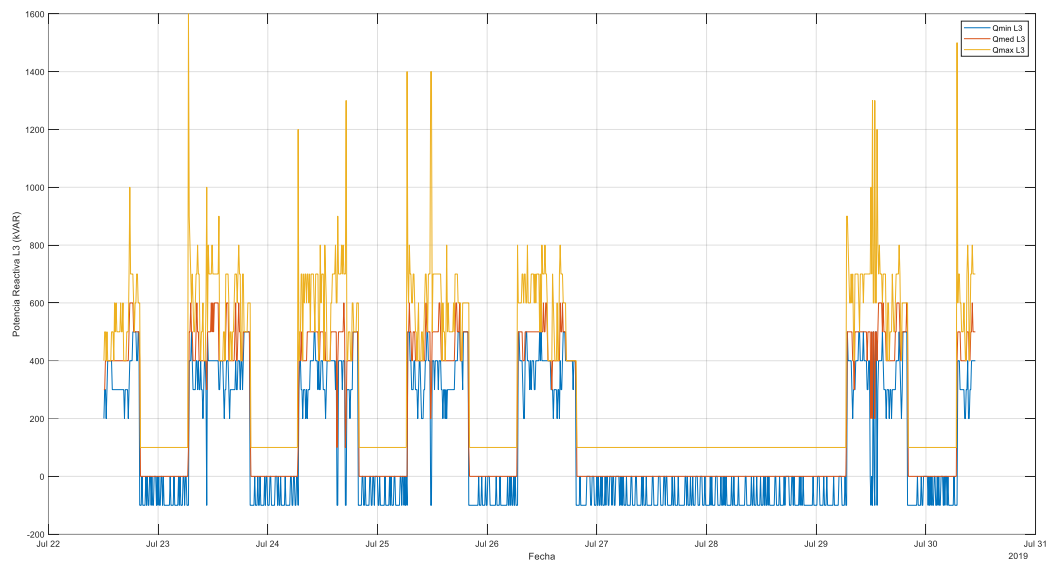


Figura 4. 7. Potencia reactiva L3

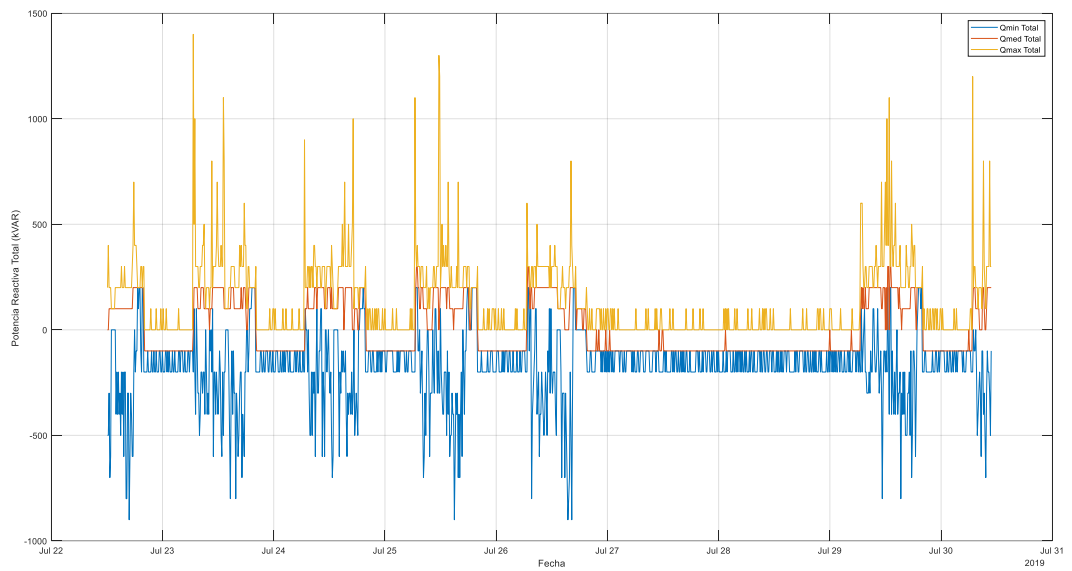


Figura 4. 8. Potencia reactiva total

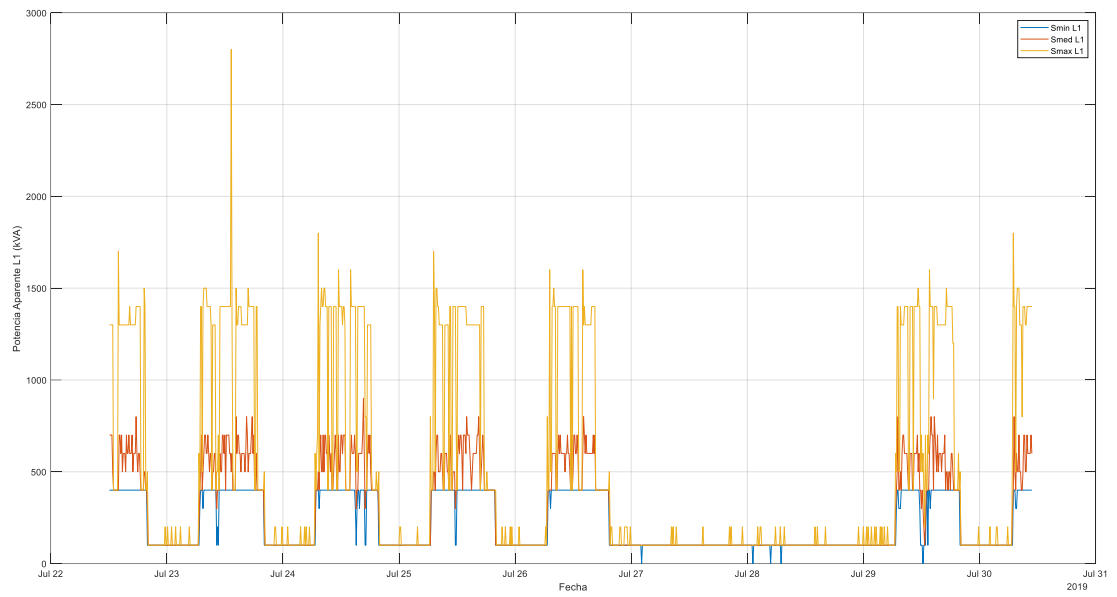


Figura 4. 9. Potencia aparente L1

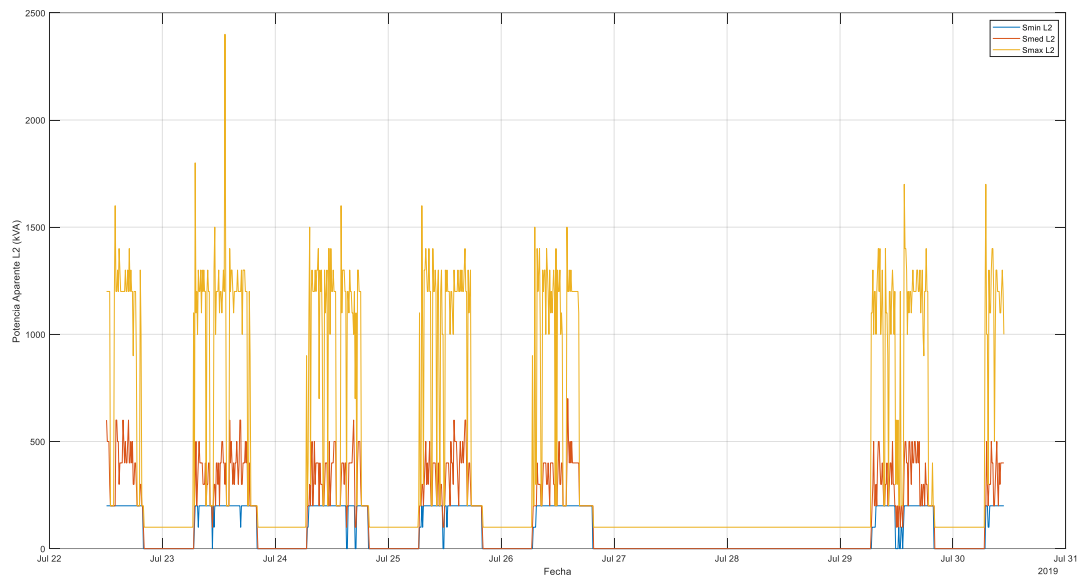


Figura 4. 10. Potencia aparente L2

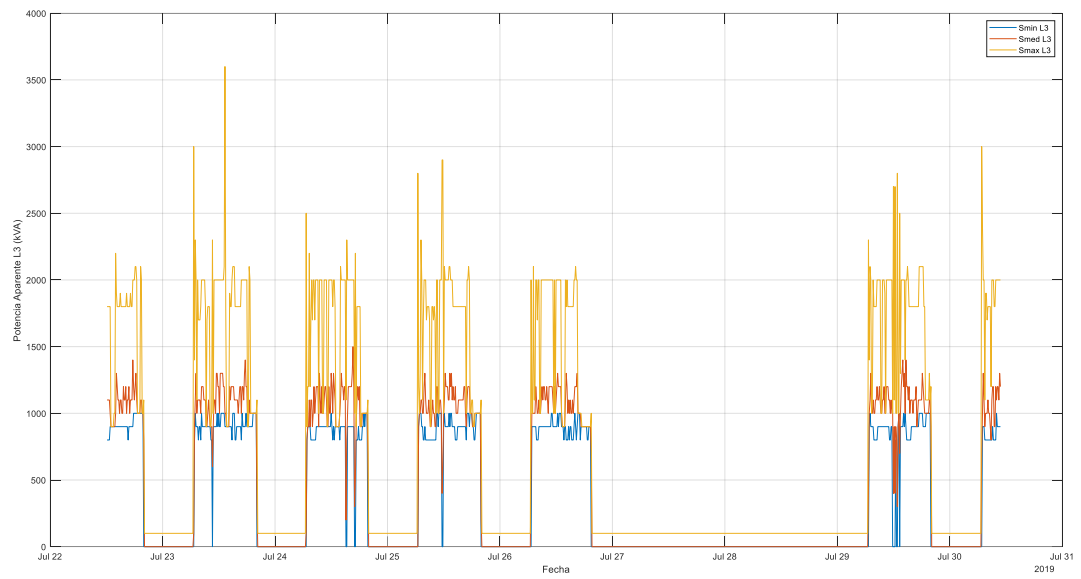


Figura 4. 11. Potencia aparente L3

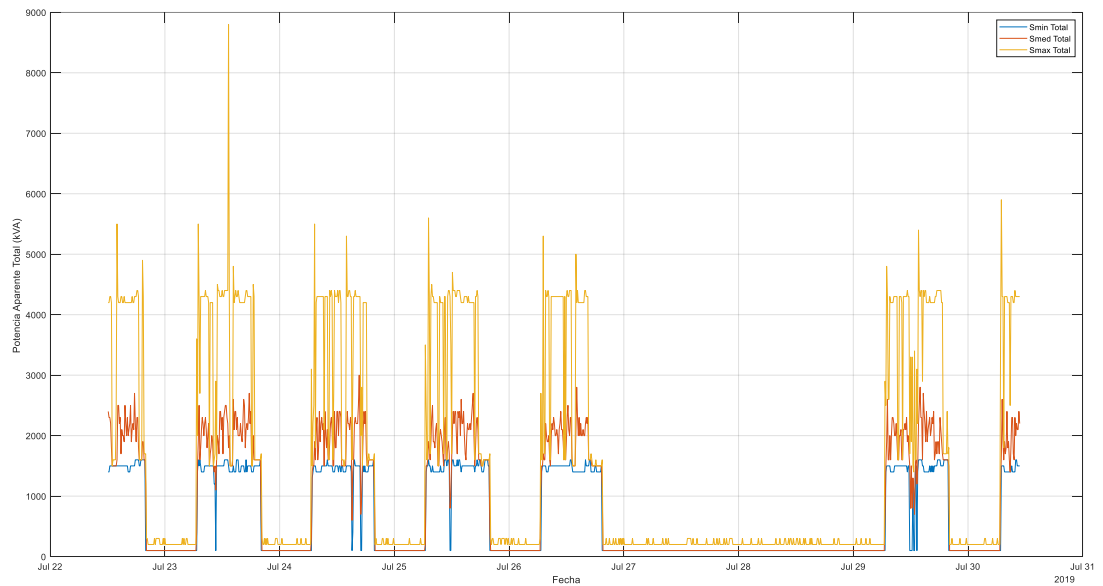


Figura 4. 12. Potencia aparente total

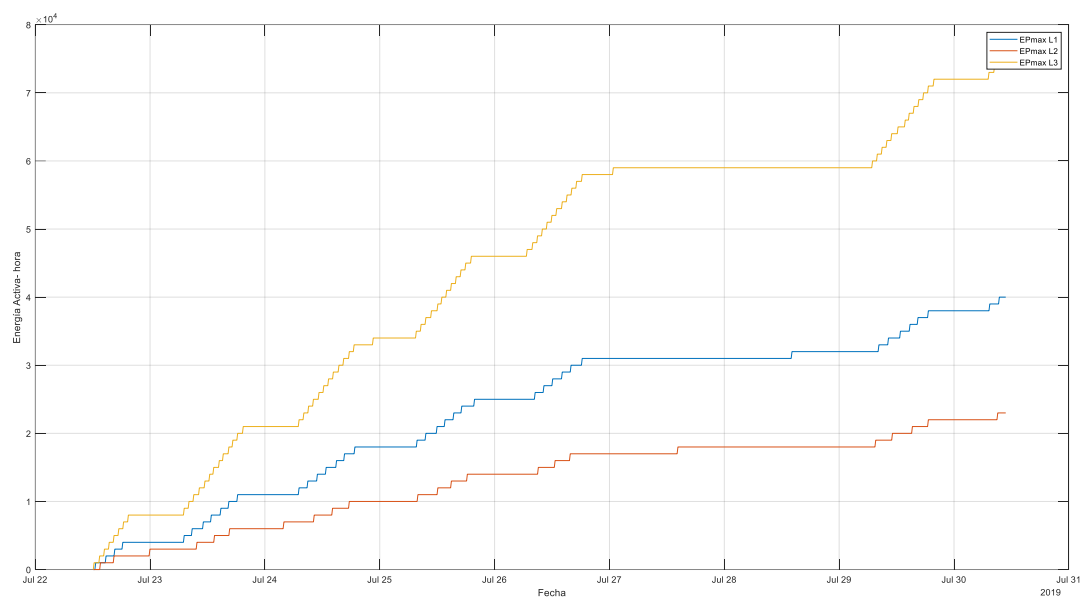


Figura 4. 13. Energía activa máxima

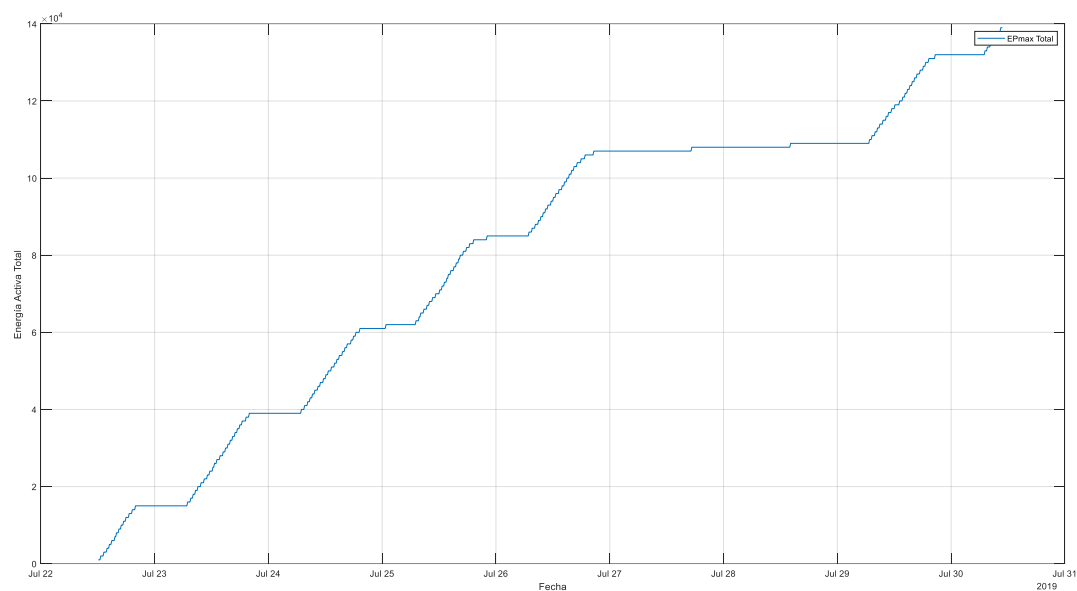


Figura 4. 14. Energía activa total

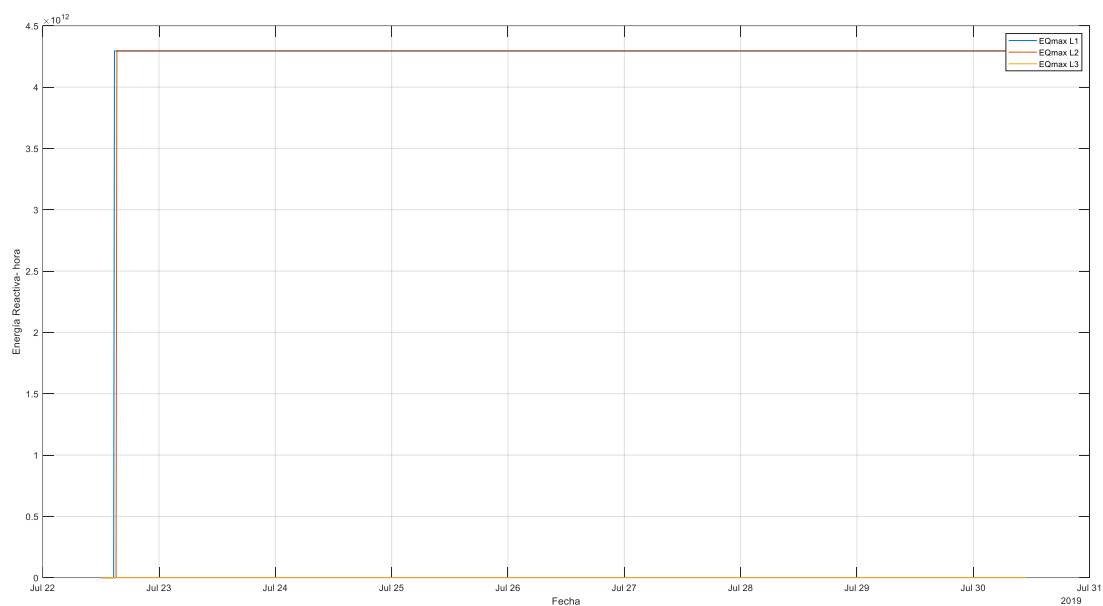


Figura 4. 15. Energía reactiva máxima

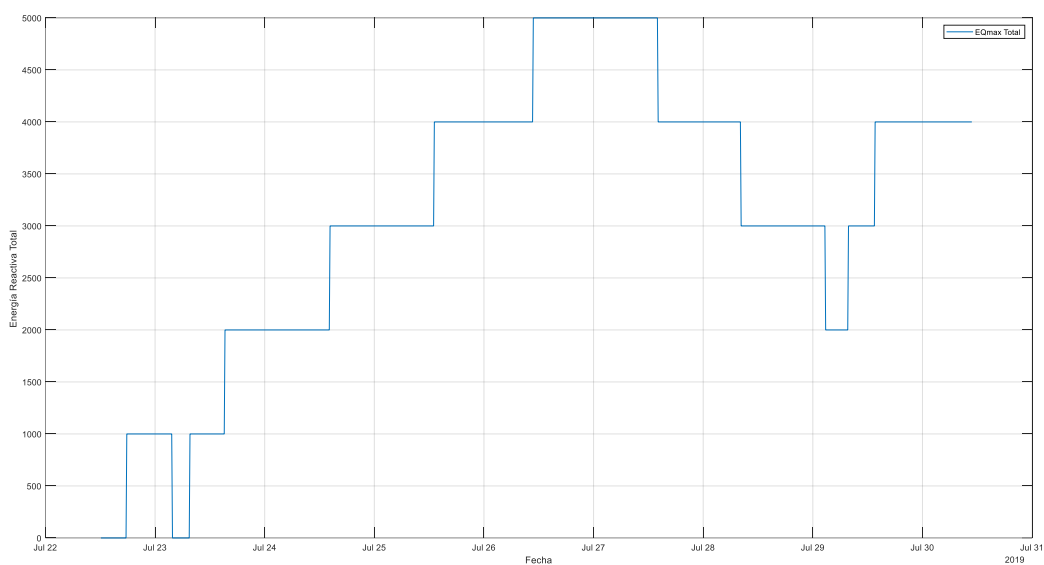


Figura 4. 16. Energía reactiva total

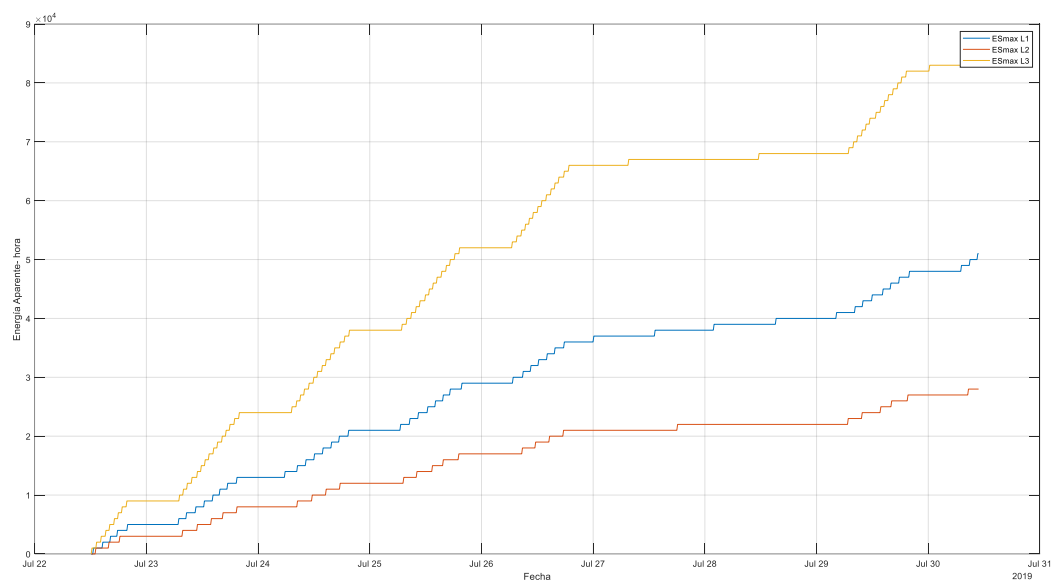


Figura 4. 17. Energía aparente máxima

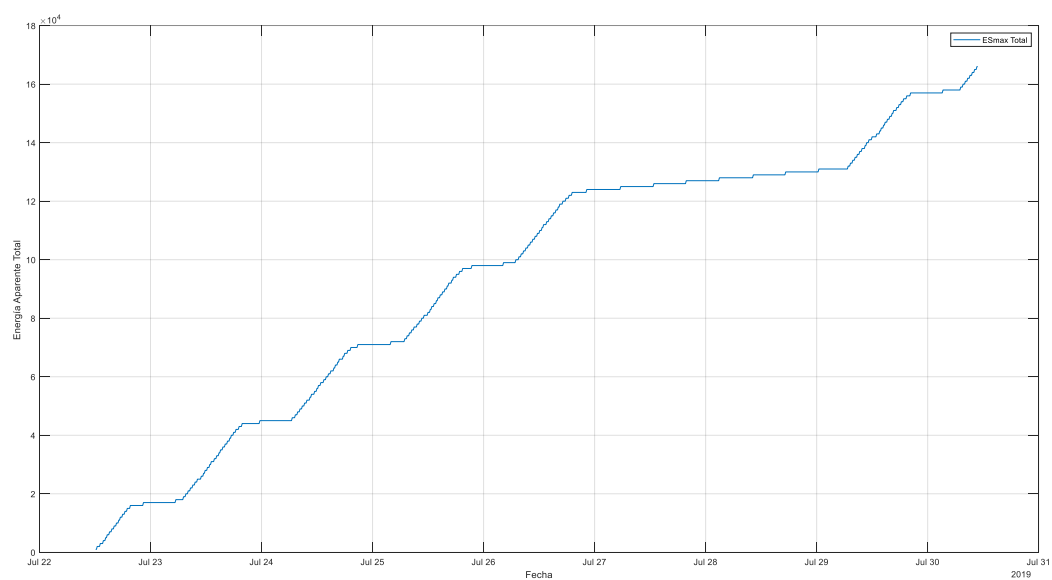


Figura 4. 18. Energía aparente total